

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy - 342

***Hodnocení spolehlivosti a LCC systému protipožární
ochrany vozidel metra***

Fire and Smoke Detection Systems in Railway Vehicles

Student:

Tomáš Bryx

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Bryx**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Téma: **Hodnocení spolehlivosti a LCC systému protipožární ochrany vozidel metra**
Fire and Smoke Detection Systems in Railway Vehicles
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je stanovit úroveň bezporuchovosti variantního uspořádání protipožárního systému vozidel metra. Na základě získaných dat provést predikce nákladů na údržbu.

1. Úvod
2. Metody hodnocení bezporuchovosti systémů a nákladů LCC
3. Hodnocení bezporuchovosti systému požární ochrany vozidla
4. Predikce nákladů LCC systému požární ochrany vozidla
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Famfulík, J.: Teorie údržby. VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8
ČSN EN 60300-3-3: Management spolehlivosti - Část 3-3: Pokyn k použití - Analýza nákladů životního cyklu
ČSN EN 45545-6: Drážní aplikace - Protipožární ochrana drážních vozidel - Část 6: Systémy protipožární ochrany a jejího řízení

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016
Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было́ сје́днано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было́ сје́днано, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Tomáš Bryx

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vrchlického 12, Šumperk 787 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BRYX, T. *Hodnocení spolehlivosti a LCC systému protipožární ochrany vozidel metra*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2017, 65 s. Vedoucí práce: Famfulík, J.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním zálohovaného systémů protipožární ochrany jednotky metra od společnosti Siemens v porovnání nezálohovaného systému protipožární ochrany. Porovnání nákladů proběhne z hlediska preventivní a korektivní údržbu. Určení parametrů spolehlivosti bude provedeno za pomoci FTA metody. Výstupem práce bude vyhodnocení nákladů a spolehlivosti jednotlivých druhů systémů a jejich porovnání.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BRYX, T. *Fire and Smoke Detection Systems in Railway Vehicles: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transportation, 2017, 65 p. Thesis head: Famfulík, J.

The bachelor thesis deals with the comparison of backed up fire protection system of Siemens company's metro units and non-backed up fire protection system. The comparison of costs is going to be conducted from the point of view of preventive and corrective maintenance. The determination of reliability parameters will be done with the help of Fault Tree Analysis (FTA). The output of this thesis will be the evaluation of costs and reliability of individual types of systems and their comparison.

Poděkování

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Janovi Famfulíkovi, Ph.D. za ochotu a pomoc při odborných konzultacích. Dále děkuji panu Ing. Radkovi Krzyžánkovi, Ph.D. za poskytnutí materiálů k práci, odborné konzultace a pomoc při řešení problémů.

Obsah

Obsah	7
Seznam použitých symbolů	9
1 Úvod	10
1.1 Charakteristika metra	11
1.1.1 Historie	11
1.1.2 Uspořádání metra a jeho typy	11
1.1.3 Technologie metra	12
1.1.4 Rozdělení z hlediska řízení	12
1.1.5 Charakteristiky metra s ohledem na požární bezpečnost	13
1.2 Požární ochrana	13
1.2.1 Identifikace rizik	14
1.3 Požadavky na systémy používané v automatické detekci požáru	15
1.3.1 Požární detekce	15
1.3.2 Základní systémy protipožární ochrany	16
2 Metody hodnocení bezporuchovosti systémů a nákladů LCC	18
2.1 Poissonovo rozdělení	19
2.2 Exponenciální rozdělení	21
2.3 Základní charakteristika FTA	22
2.4 Výpočet nákladů životního cyklu (LCC)	23
2.4.1 Charakteristika etap životního cyklu	24
3 Hodnocení bezporuchovosti systému požární ochrany vozidla	25
3.1 Specifikace vozidla	25
3.1.1 Parametry vozidla	25
3.1.2 Specifikace jednotky z pohledu požární bezpečnosti	26
3.2 Specifikace systému protipožární ochrany	27
3.2.1 Specifikace poruch s vlivem na zpoždění	29
3.2.2 Systém protipožární ochrany bez zálohování	29
3.2.3 Systém protipožární ochrany se zálohováním	30
3.3 Hodnocení spolehlivosti s využitím FTA	31

3.3.1	FTA strom pro systém bez zálohování	32
3.3.2	FTA strom pro systém se zálohováním	36
4	Predikce nákladů LCC systému protipožární ochrany vozidla	40
4.1	Intervaly údržby.....	40
4.2	Predikce nákladů LCC – parametry preventivní a korektivní údržby	41
4.3	Predikce nákladů LCC – systém bez zálohování.....	44
4.3.1	Predikce nákladů preventivní údržby systému bez zálohování	45
4.3.2	Predikce nákladů korektivní údržby nezálohovaného systému	48
4.3.3	Grafické vyjádření LCC – systém bez zálohování	51
4.4	Predikce nákladů LCC – systém se zálohováním.....	54
4.4.1	Predikce nákladů preventivní údržby systému se zálohováním	54
4.4.2	Predikce nákladů korektivní údržby systému se zálohováním	56
4.4.1	Grafické vyjádření LCC – systém se zálohováním	57
5	Závěr.....	61
5.1	Porovnání spolehlivosti	61
5.2	Porovnání LCC protipožárního systému.....	61
6	Seznam použité literatury.....	63
7	Seznam obrázků a tabulek.....	64

Seznam použitých symbolů

ČSN	Česká státní norma
DC	Stejnoseměrný proud
EN	Evropská norma
EUR	Euro
FIT	Počet poruch za 10^9 hodin
FTA	Analýza stromu poruchových stavů
GoA	Stupně automatizace
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
LCC	Náklady životního cyklu
LED	Dioda emitující světlo

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je hodnocení spolehlivosti a výpočet nákladů životního cyklu systému protipožární ochrany jednotky metra a porovnání výhod zálohovaného systému oproti nezálohovanému systému. Porovnání bude provedeno s ohledem na náklady životního cyklu a celkovou spolehlivost systému protipožární ochrany. Přesněji se jedná o jednotku metra od společnosti Siemens, která bude blíže specifikována.

V úvodních částech budou charakterizovány dopravní systémy metra a jeho vozidel. Dále budou identifikována možná rizika, bezpečnostní požadavky na požární ochranu a přehled používaných systému požární ochrany, včetně požadavků na funkčnost a provoz. Následně bude zhodnocena bezporuchovost systému a popsána analýza stromu poruchových stavů se zaměřením na vybrané metody. Dále bude určena teorie nákladů životního cyklu.

V praktické části bude vyhodnocena bezporuchovost systému požární ochrany. To bude zahrnovat přesnější definici systému vozidla a požární ochrany. Vypočtení ukazatelů bezporuchovosti a následné zhodnocení provozní spolehlivosti s využitím FTA.

Poté budou vyhodnoceny náklady na údržbu systému požární ochrany, (preventivní a korektivní údržba). Určení nákladů údržby během životnosti jednotky. Přizpůsobení jeho intervalů preventivní údržby. V závěru budou vyhodnoceny náklady životního cyklu pro obě varianty ve vztahu k dosažené bezporuchovosti systému požární ochrany.

1.1 Charakteristika metra

Výraz vychází z francouzského Chemin de fer Metropolitain – železnice hlavního města, anglicky Metropolitan Railway, metropolitní železnice. Jedná se o dráhu, která je celá, nebo její převážná část situována pod zemí v podzemních tunelech. Z této podmínky vyplývá její výhoda, totiž že není omezována jinou pozemní dopravou a může se pohybovat nezávisle na ní. Metro slouží jako páteř městské hromadné dopravy na velkých územích, pro přemístění maximálního možného objemu cestujících v co nejkratším čase. Metro je situováno na samostatném kolejovém tělese a jeho rozchod ve většině případech odpovídá rozchodu železnici v dané zemi. Jeho technologie vychází z technologie železniční dopravy. Nicméně je síť metra nezávislá a nenavazuje na železniční síť. Napájením metra je elektrický proud, ve většině případech 750 V (DC). Elektrický proud je odebíráná zpravidla spodním odběrem z důvodu uspořádání tunelu.

1.1.1 Historie

První trasa metra byla uvedena do provozu v Londýně v roce 1863. Jednalo se pouze o krátký úsek mezi dvěma nádražími, a to Paddington a Farringdon. Tehdejší provozovaný vlak byl parní což se ukázalo jako nevhodné řešení, z toho důvodu se později přešlo na elektrický pohon. Po Londýně následovala města jako Istanbul (1875), Athény (1895), Budapešť (1896), Paříž (1900), Berlín (1902), New York (1904), Tokio (1927). Oproti tomu Moskva (1935) zaostala oproti New Yorku o třicet jedna let, Petrohrad (1955) dokonce o padesát jedna let. Praha se dočkala svého metra až v roce 1974.

1.1.2 Uspořádání metra a jeho typy

Podle technicko - dopravní koncepce. [4]

- Lehké metro – jedná se o metro na bázi tramvaje, nebo také rychlé tramvaje. Tento typ má tunelově menší profil, je provozována s lehčími a kratšími vozovými jednotkami a kapacitou do 20 000 cestujících za hodinu.
- Standardní metro – báze železniční technologie, větší rozestupy mezi stanicemi přepravní kapacita by neměla převyšovat 40 000 cestujících za hodinu.
- Metro se zrychlenými úseky – typ metra s čtyřkolejným profilem tunelů, umožňující průjezd stanicemi bez zastavení.
- Rychlé / expresní metro – velký rozestup stanic, i pět kilometrů, který umožňuje zvýšení maximální rychlosti.

Podle umístění ve vztahu k terénu [4]

- Ražené metro – ražené tunely v hloubce 20 až 50 pod zemí, někdy i hlouběji.
- Hloubené metro – hloubené tunely z povrchu do 10 metrů.
- Zapuštěné metro – trasa je zapuštěná maximálně do 5 metrů.

- Povrchové metro – úseky metra situované na povrchu (mírné zahloubení či násypy) oddělené od ostatních druhů pozemní dopravy.
- Nadzemní metro – situováno nad pozemními komunikacemi – estakáda.

Podle způsobu provozu tras [4]

- Metro bez větvení tras
- Metro s větvením tras
- Okružní metro
- Metro s kruhovým ukončením
- Metro s kyvadlovým provozem

1.1.3 Technologie metra

Technologie metra vychází z technologie klasické železniční dopravy. [4]

- Dopravní cesta – obratiště, manipulační spojky, technologie určená pro provoz, inženýrské sítě
- Stanice – podzemní, nadzemní, spojovací tunely, přestupní tunely, technologie pro přesun cestujících, jejich pohodlí a bezpečí (osvětlení, zabezpečení, informační a odbavovací systémy, vzduchotechnika, ...)
- Vozový park – mobilní technika, vozové jednotky
- Depa/vozovny – technická údržba, zázemí pro personál
- Měničny – rozvody elektrické energie, řešení náhradních zdrojů
- Dispečink – řízení provozu, řešení neočekávaných situací, komunikace, signalizace

1.1.4 Rozdělení z hlediska řízení

Řízení jednotek metra se svým způsobem výrazně neliší od řízení na železnici. V této době máme čtyři druhy řízení vozidel na železnici, které jsou schváleny mezinárodním svazem veřejné dopravy (UITP). [7]

- GoA 0 – ručně řízený provoz například u tramvají
- GoA 1 – manuální provoz vlaku kdy obsluha vozu řídí rozjezd, zastavení, otvírání dveří a zvládání náhlých situací
- GoA 2 – poloautomatické řízení vlaku, rozjíždění a zastavování je automatické. Obsluha řídí otvírání dveří a ovládá vlak v případě mimořádné události.
- GoA 3 – obsluha vlaku je potřebná pouze pro otvírání a zavírání dveří a pro případ mimořádné události
- GoA 4 – plně automatizovaný provoz, obsluha je potřebná pouze pro případ mimořádných událostí

1.1.5 Charakteristiky metra s ohledem na požární bezpečnost

Tunely jsou vybaveny obdobnými prvky jako zbytek železnice jako jsou například spojovací, zabezpečovací zařízení a návěstidla. V tunelech je potřeba zvýšených bezpečnostních opatření z důvodu ztížené evakuace cestujících a špatného přístupu záchranných složek. Pro bezpečnou evakuaci cestujících je zajištěno propojení souběžných tunelových trub. Dále vybudování samostatných únikových chodeb a svislých únikových šachet. Tunel tedy musí být vybaven pasivními i aktivními prvky protipožární ochrany.

Tvar tunelu je výhodný pro šíření kouře, protože kouř může expandovat pouze dvěma směry. Z toho důvodů musí být zajištěno kvalitní odvětrávání. Které je v případě tunelu obtížné především z konstrukčního hlediska. Velký počet obětí při požárech v tunelech je právě z důvodu udušení.

Z těchto důvodů je potřeba zvýšená spolehlivost protipožární bezpečnosti u jednotek metra, aby případně krizová situace nenastala. V případě, kdy situace nastane tak aby byla zajištěna bezpečná evakuace cestujících a následná likvidace požáru. Je tedy výhodnější, aby jednotka metra v případě detekce požáru zastavila ve stanici, a nikoliv mimo stanici, kde jsou ztížené podmínky evakuace a likvidace požáru.

Z hlediska bezpečnosti dělíme tunely do čtyř skupin: [10]

- Krátké do 1,5 km.
- Středně dlouhé 1,5–15 km
- Dlouhé 15–25 km
- Velmi dlouhé nad 25 km

1.2 Požární ochrana

Požární ochrana na železnici je definována normou EN 45545. Bezpečnostní požadavky na vozidla se odvíjejí od infrastruktury, ve které jsou provozovány. Hlavním úkolem normy je zajistit bezpečnost posádek železničních vozidel a pasažérů železniční dopravy v případě požáru železničních vozidel. Dále norma specifikuje protipožární opatření pro železniční vozidla a ověřovací metody pro hodnocení požární a protipožární ochrany.

Ochrana cestujících a posádky železničních vozidel je založena na zabránění vzniku požáru z důvodů technických poruch, designu vozidla, či jeho způsobu uspořádání. Dále má za úkol minimalizovat možnost vznícení materiálů použitých v konstrukci železničního vozidla. Jak z důvodů náhodných nehod, tak z úmyslného vandalizmu. Z důvodu zabránění vznícení musí být používány materiály, které zabraňují šíření požáru a minimalizují účinek na posádku a cestující. Z tohoto vyplývá, že v případě vznícení a následného požáru nesmějí vytvářet zplodiny. Dále hořící materiály nesmějí vylučovat toxické plyny nebezpečné pro lidi. Další část normy určuje způsob detekce, v případě že požár nastal. Po detekci požáru následuje vhodné

protiopatření. Buď uhašení požáru automatickými systémy, či nahlášení zodpovědnému pracovníkovi, nebo nouzovým odpojením energie. Konečným řešením v případě požáru je umožnění bezpečné evakuace cestujících a posádky železničního vozidla do bezpečného místa.

1.2.1 Identifikace rizik

Rizika branná v potaz rozdělujeme do tří částí podle normy EN 45545. Náhodné vznícení a žhářství, požáry vznikající technickými nehodami a požáry větších rozměrů než předchozí uvedené možnosti. Dále rozlišujeme pět druhů požárů vzhledem k jejich rozsahu, místu výskytu, jejich proudění a vyzářené energii.

Náhodné vznícení a žhářství – Tento druh požáru nejčastěji zahrnuje předměty denní potřeby jako například noviny, zápalky, cigarety, nebo plynové zapalovače. Tento druh požáru vzniká nejčastěji v místech volně přístupných pro posádku a pasažéry.

Hlavní úkoly systému požární ochrany v případě náhodného vznícení a žhářství

- zabránění šíření požáru v prostoru pro pasažéry a posádku železničního vozidla
- zabránit ohrožení posádky a pasažérů stíněním možných únikových cest
- zabránění ohrožení posádky a pasažérů před vznikem toxických plynů

Požáry vznikající technickými nehodami – Tento druh požáru bere v úvahu vznícení od elektrického výboje, nebo z důvodů mimořádné teploty. Dále také zahrnuje hořlavé plyny a tekutiny, jež mohou být přítomny.

Hlavní úkoly systému požární ochrany v případě požáru vzniklého technickými nehodami

- zabránění šíření požáru v prostoru pro pasažéry a posádku železničního vozidla
- zabránit ohrožení posádky a pasažérů stíněním možných únikových cest
- zabránění ohrožení posádky a pasažérů před vznikem toxických plynů

Požáry větších rozměrů než předchozí uvedené možnosti – Specifikace těchto větších požárů jsou určeny normou EN 45545. A zahrnují jakékoliv požáry větších rozměrů, než jsou uvedeny výše.

Hlavní úkoly systému požární ochrany v případě požárů větších rozměrů

- uspořádáním interiéru, vybavením a výběrem použitých materiálů bránit šíření požáru a bránění vlivu požáru
- použití materiálů a vybavení, odolnějších proti šíření plamene, než jsou požadavky na materiály a vybavení uvedené výše
- zabránění šíření ohně a zplodin, například protipožárními bariérami

- vozidla musí být konstruována tak, aby jejich konstrukce umožňovala snadnou evakuaci a redukovala dobu vystavení požárem
- vozidla musí být konstruována tak aby se byla schopna dopravit, do jakéhokoli místa bezpečné evakuace dle jejích operačního zařazení, které je definováno normou EN 45545
- prostředky pro detekci požáru, hašení požáru, a řízení evakuace

Další specifikace jsou uvedeny v normě EN 45545.

1.3 Požadavky na systémy používané v automatické detekci požáru

1.3.1 Požární detekce

Zařízení na detekci požáru musí být spolehlivé a musí být aktivní ve všech módech provozu. Musí být monitorované oblasti, které jsou definovány normou EN 45545-6. Zařízení požární detekce musí být přizpůsobeno pro předpokládané produkty požáru například plameny, dým nebo teplotu. Prostory a vybavení které musejí být monitorovány budou specifikovány při bližší specifikaci jednotky. [3]

Pro vybrání funkce detekce musí být brány v úvahu následující podmínky:

- Původ požáru
- Rozsah požáru
- Materiály obsažené v požáru
- Povaha detektorů
- Tok vzduchu

Tabulka 1.1 Požadavky na požární detekci dle EN 45545

	Operační kategorie	Prostor pro cestující	Chodby	Toalety	Prostor pro personál	Kuchyň nebo stravovací prostory	Spalovací motor	Technické kontejnery obsahující trakční zařízení	Další technické kontejnery	Zavazadlový prostor
Konstrukční kategorie A	1	nr	nr	nr	nr	nr	X	X	nr	X
	2	nr	nr	X	nr	nr	X	X	nr	X
	3	X ^c	nr	X	nr	nr	X	X	X ^b	X
	4	X ^c	nr	X	nr	nr	X	X	X ^b	X

Vysvětlivky k předchozí tabulce.

nr – indikátory nejsou požadovány

X^c – požadavky na vozidla neexistují, když železniční vozidlo není v oblasti Směrnice 2008/57/EC

X^b – požadavky nejsou stanoveny pro případ kdy není elektrické trakční vybavení v technickém kontejneru a splňuje jednu z následujících podmínek:

- obsah kontejneru splňuje požadavky normy EN 45545-2,
- technický kontejner splňuje obsah dle normy EN 45545-3.

X – indikátory jsou požadovány

1.3.2 Základní systémy protipožární ochrany

Systém protipožární ochrany se skládá z řídicího systému, detektorů požáru a lineární teplotní detekce. [8]

Řídicí systém může být zaveden jako požární detekční systém, nebo jako kombinace detekčního systému a hasícího systému. Když je řídicí jednotka připojena k detektorům je schopna spolupracovat s celým systémem vozidla. Řídicí systém je napájen z napájení vozidla.

Detektory požáru můžeme rozdělit do dvou kategorií. Bodové detektory a kouřové detektory.

Bodové detektory můžeme rozdělit do dvou kategorií, a to na teplotní spínače a mechanické bodové detektory. Teplotní spínače pracují na principu bimetalové roztažnosti. Se zvyšující se teplotou se bimetalový prvek roztahuje až do doby, než spustí alarm. Se snižující se teplotou se bimetalový prvek navrátí do původní velikosti.

Mechanické bodové detektory pracují se specifickou termální expanzí. Detektor při překročení dané teploty pošle impulz do řídicí jednotky.

Kouřové detektory rozdělujeme na termodiferenciální hlásiče a optické kouřové hlásiče. Termodiferenciální hlásič pracuje na principu dvou porovnávacích teplotních rezistorů, které rozeznají rychle měnící se teplotu, která je vytvořena požárem. Případný poplach nastane v případě, že když se teplota dostane na nastavené hodnoty indikace požáru.

Optické kouřové hlásiče pracují na principu rozptylu světla. Uvnitř hlásiče je měřicí komora, do které jsou pravidelně vyzařovány paprsky světla LED diodou. Když kouř pronikne do měřicí komory světlo se odrazí od částic kouře a foto čočka zaregistruje odraz světla což spustí alarm.

Lineární teplotní detektory se používají například v podvozku vozidla či v místech kde není primární produkt požáru kouř. Tyto části protipožární ochrany pracují buď na systému fyzikálních změn materiálu s teplotou. Například odporový systém. Tento systém je možno použít vícekrát. Druhá možnost pro vyšší teploty je možnost použít lineární teplotní detektor který pracuje na principu zkratu dvou vodičů při poškození jejich obalu. Po detekci je nutno detektor vyměnit.

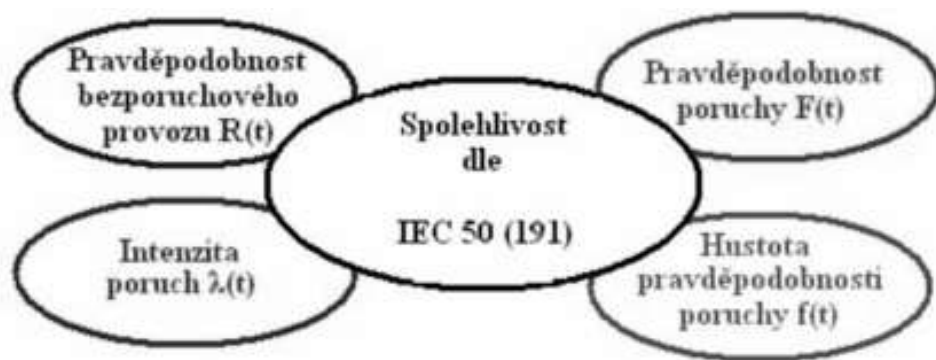
2 Metody hodnocení bezporuchovosti systémů a nákladů LCC

Bezporuchovost je jedna ze tří částí spolehlivosti v případě, kdy uvažujeme spolehlivost v jejím širším pojetí dle normy ČSN EN ISO 9000: 2006. V tomto případě můžeme spolehlivost rozdělit do tří částí. [5]

- Bezporuchovost – schopnost objektu plnit nepřetržitě požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek.
- Udržovatelnost – schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci tehdy, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy i prostředky.
- Zajištěnost údržby – schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu v souladu s koncepcí údržby. [5]

Spolehlivost můžeme také zavést v užším rozdělení dle ČSN IEC 50(191) – Mezinárodního elektrotechnického slovníku (viz. Obrázek 2.1 Spolehlivost dle IEC 50(191)). [5] Poté je spolehlivost vyjádřena jako pravděpodobnost, že objekt může plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu. Tato norma dále definuje další pojmy vztahující se k bezporuchovosti a údržbě:

- Porucha – částečná nebo úplná ztráta schopnosti provozu soustavy nebo prvku. Pokud dojde ke změně schopnosti provozu, rozhoduje se, zda jde o poruchu nebo ne, podle stanovených podmínek provozu
- Doba do první poruchy – celková doba provozu objektu od okamžiku prvního uvedení do použitelného stavu až do poruchy
- Doba mezi poruchami – doba trvání mezi dvěma po sobě následujícími poruchami opravovaného objektu
- Doba údržby – časový interval, během něhož se na objektu provádí údržbářský zásah buď ručně, nebo automaticky, včetně technických a logistických zpoždění
- Údržba – souhrn konkrétních technologických činností a postupů, jejich uplatňováním za určených podmínek se provádí obnova požadovaného technického stavu objektu
- Preventivní údržba – údržba prováděná v předem určených intervalech, nebo podle předepsaných kritérií a je zaměřená na snížení pravděpodobnosti poruchy, nebo degradace fungování objektu
- Korektivní údržba – údržba prováděná po zjištění poruchového stavu a je zaměřená na uvedení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci
- Oprava je část údržby po poruše, při níž se na objektu provádějí ruční operace



Obrázek 2.1 Spolehlivost dle IEC 50(191) [5]

2.1 Poissonovo rozdělení

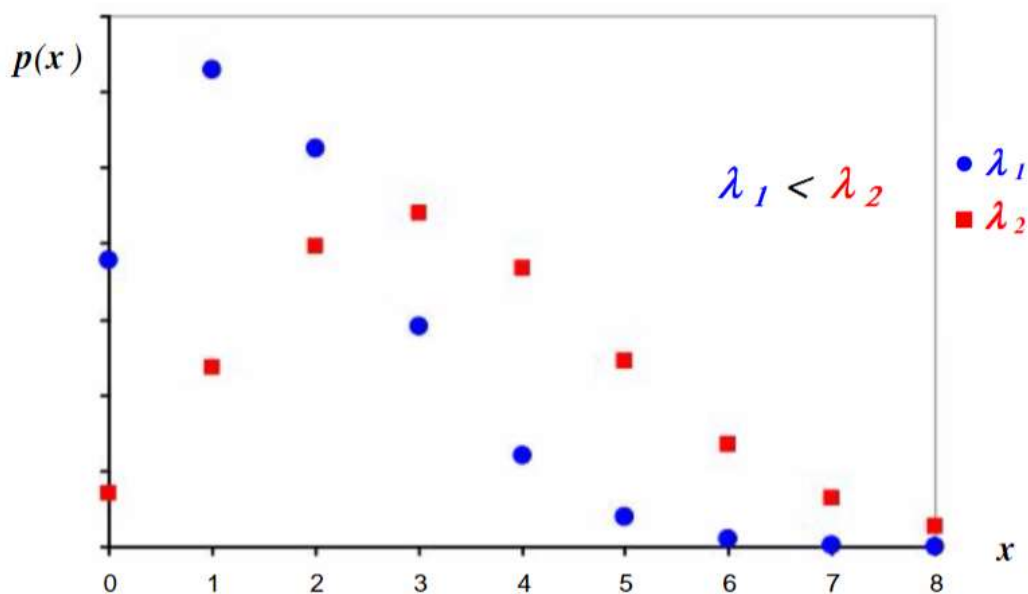
Poissonovo rozdělení popisuje pravděpodobnost výskytu náhodných jevů během stanoveného časového intervalu. Tento proces platí v případě, že jsou splněny tyto podmínky. Intenzita výskytu náhodného jevu je konstantní během celého intervalu, události se vyskytují nezávisle na sobě a pravděpodobnost současného vzniku dvou událostí je nulová. Pravděpodobnost, že během sledovaného časového intervalu se sledovaný jev vyskytne k -krát. Toto je dáno funkcí $p(k)$. [5]

$$p(k) = P(X = k) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.1.)$$

λ – intenzita náhodného jevu [h^{-1}] $\lambda > 0$; $\lambda = \text{konstanta}$

k – počet výskytů sledovaného jevu $k = 0; 1; 2; \dots \dots n$

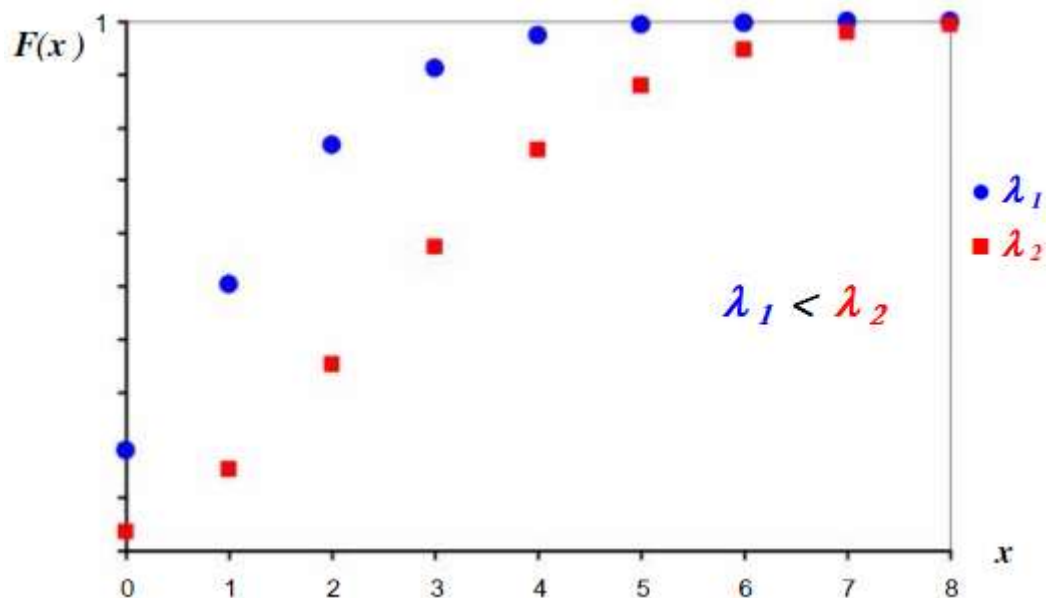
t – délka časového intervalu [h]



Obrázek 2.2 Pravděpodobnost funkce poissonova rozdělení [5]

Distribuční funkce $F(k)$ poissonova rozdělení je uvedena níže. Níže se také nachází graf průběhu distribuční funkce.

$$F(k) = P(X \leq a) = \sum_{k=0}^a \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.2.)$$



Obrázek 2.3 Graf distribuční funkce poissonova rozdělení [5]

Střední hodnotu $E(X)$, a rozptyl $D(X)$ poissonova rozdělení určíme podle následujících vzorců.

$$E(X) = \lambda \cdot t \quad (2.3.)$$

$$D(x) = \lambda \cdot t \quad (2.4.)$$

2.2 Exponenciální rozdělení

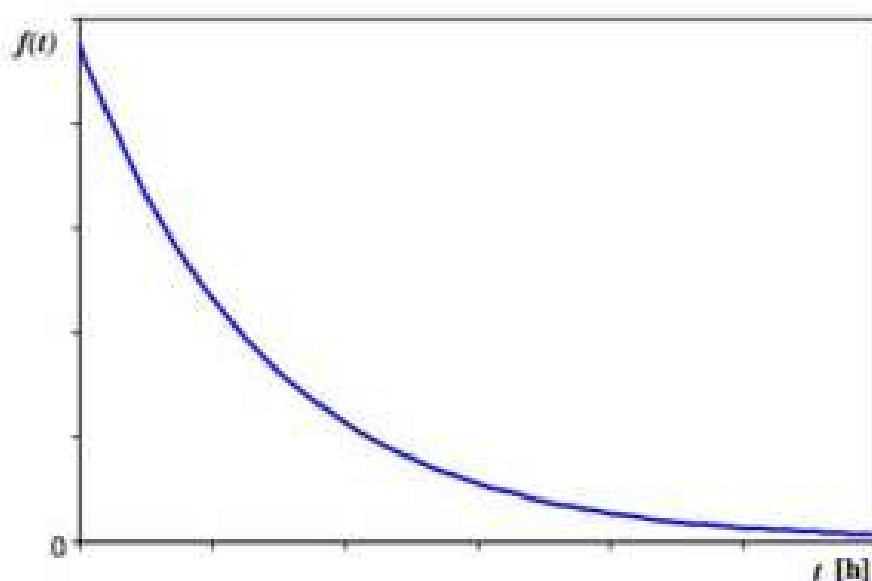
Exponenciální rozdělení popisuje dobu do vzniku náhodného jevu v Poissonově procesu. Toto rozdělení je vhodné pro systémy, kde vznikají jevy náhodně bez opotřebení. Parametrem tohoto rozdělení je λ . Parametr zároveň určuje míru výskytu jevu, v tomto případě poruch, a je konstantní ($\lambda = \text{konst.}$). V této práci se zaměřím na systémy požární ochrany, které obsahují převážně elektronické prvky. U elektrických prvků lze výskyt poruch charakterizovat exponenciálním rozdělením náhodné veličiny. Exponenciální rozdělení není závislé na svém předchozím stavu, zda bylo v poruše, či nikoliv. [5]

Hustota pravděpodobnosti $f(t)$ má průběh klesající exponenciální funkce (viz. Obrázek 2.4 Hustota pravděpodobnosti). Tvar rovnice pro hustotu pravděpodobnosti je potom následující:

$$f(t) = \lambda \cdot te^{-\lambda \cdot t} \quad (2.5.)$$

t – hodnota náhodné veličiny T [h]

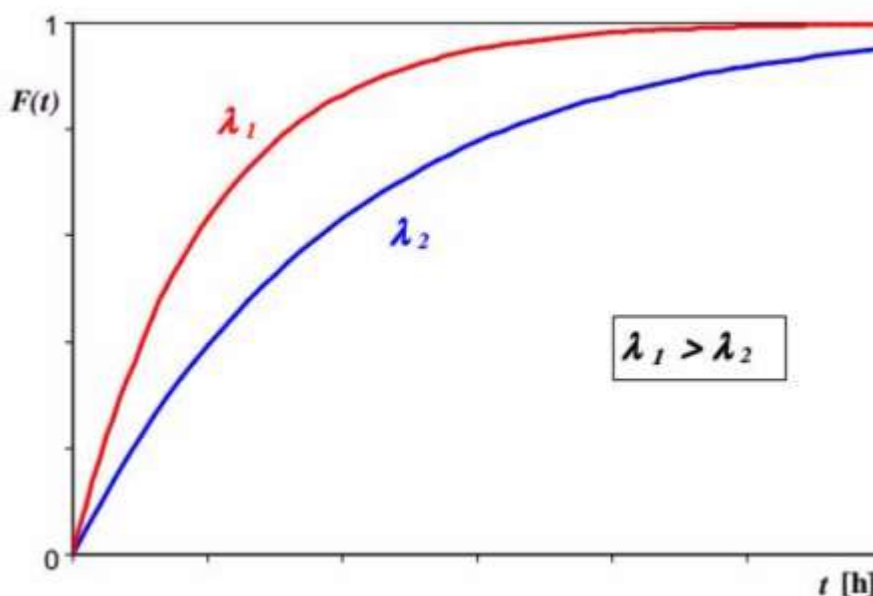
λ – intenzita poruch [h^{-1}] $\lambda = \text{konstanta}$



Obrázek 2.4 Hustota pravděpodobnosti exponenciálního rozdělení [5]

Distribuční funkci $F(t)$ určuje následující vztah. Průběh funkce se nachází na Obrázek 2.5 Distribuční funkce.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.6.)$$



Obrázek 2.5 Distribuční funkce exponenciálního rozdělení [5]

Pravděpodobnost bezporuchového stavu $R(t)$ vyjadřuje vzorec:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.7.)$$

Střední hodnota $E(t)$, a rozptyl $D(t)$ náhodné veličiny s exponenciálním rozdělením vyjadřují vzorce:

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} \quad (2.8.)$$

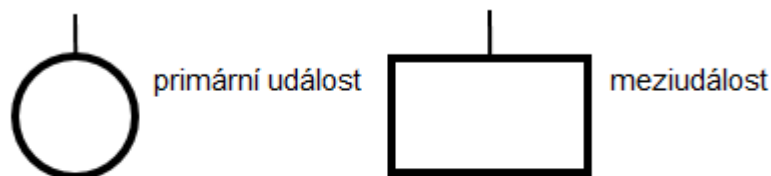
$$D(T) = \frac{1}{\lambda^2} \quad (2.9.)$$

λ – intenzita poruch [h^{-1}] $\lambda = \text{konstanta}$

2.3 Základní charakteristika FTA

Analýza stavů FTA neboli fault tree analysis, je metoda speciálních orientovaných grafů. Strom FTA představuje logický diagram, u kterého znázorňujeme vztahy mezi vrcholovou událostí a mezi příčinami vzniku této vrcholové události. Jedná se o deduktivní metodu. [5]

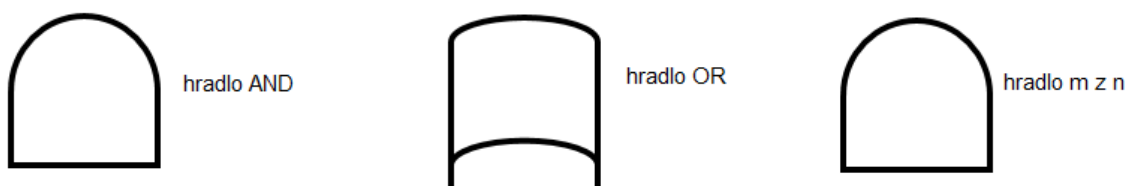
Konstrukce stromu probíhá postupným rozvojem příčin nežádoucích událostí. Teda strom je rozvíjen směrem k nižším úrovním systému. Tyto nižší úrovně jsou nazývány meziudálosti. Rozvoj stromu pokračuje až k primárním událostem, které není možno dále rozvíjet a je možné kvantifikovat pravděpodobnost jejich vzniku. Události musejí být nezávislé.



Obrázek 2.6 Značení událostí v FTA

Rozvoj poruch až k primárním událostem je prováděn pomocí logických operací. Jejich znázornění je prováděno pomocí hradel. Jejich zobrazení je na Obrázek 2.7.

- Konjunkce (hradlo AND) - logický součin. Výstupní událost nastane v případě, že nastanou všechny vstupní události.
- Disjunkce (hradlo OR) – logický součet. Výstupní událost nastane v případě, že nastane alespoň jedna vstupní událost.
- Logika m z n (výběrové hradlo) – výběrová logika. Vstupní událost nastane, nastane-li současně v libovolné kombinaci alespoň m vstupních událostí z n celkových.



Obrázek 2.7 Označení hradel FTA

2.4 Výpočet nákladů životního cyklu (LCC)

Dnešní produkty mají vysoké požadavky na spolehlivost. Musejí fungovat bezpečně bez nepatřičného vlivu na prostředí a musejí být jednoduše udržovatelné během jejich doby používání. Rozhodování o koupi není ovlivněno pouze pořizovací cenou, ale i předpokládanými náklady na provoz, náklady na údržbu během provozu a náklady na likvidaci

výrobku. Z důvodů splnění požadavků zákazníků musí být produkty vytvářeny tak, aby byly spolehlivé a konkurence schopné na trhu. Toho dosáhneme optimalizací pořizovací ceny, nákladů na provoz a údržbu a také nákladů na likvidaci. Tento optimalizační proces by měl začínat při návrhu výrobku a měl by zahrnovat dobu celé předpokládané životnosti. Všechny náklady životního cyklu jsou obsaženy v normě IEC 60300-3-3. [1]

2.4.1 Charakteristika etap životního cyklu

Základním konceptem nákladů životního cyklu je základní pochopení životního cyklu produktu a jeho rozdělení do šesti základních etap. Kombinace těchto etap určuje výkon produktu, jeho bezpečnost, spolehlivost, udržovatelnost a další charakteristiky spojené s náklady životního cyklu. Tato práce bude zaměřena na udržovatelnost.

Etapy životní cyklu

- Koncept a definice produktu
- Design a vývoj
- Výroba
- Instalace
- Výkon a udržovatelnost
- Likvidace

V této práci budou určeny celkové náklady na údržbu systému protipožární ochrany. Celkové náklady údržby zahrnují náklady na korektivní a preventivní údržbu.

Náklady preventivní údržby se skládají z nákladů na práci a nákladů na materiál či díly použité při údržbě.

$$NK_{PU} = M_{PU} + P_{PU} \quad (2.10.)$$

NK_{PU} – náklady preventivní údržby na vybrané období

M_{PU} – náklady na materiál preventivní údržby na vybrané období

P_{PU} – náklady na práci preventivní údržby na vybrané období

Náklady korektivní údržby se skládají z nákladů na práci a nákladů na materiál jednotlivě vynásobených předpokládaným počtem poruch.

$$NK_{KU} = M_{KU} + P_{KU} \quad (2.11.)$$

NK_{KU} – náklady korektivní údržby na vybrané období

M_{KU} – náklady na materiál korektivní údržby na vybrané období

P_{KU} – náklady na práci korektivní údržby na vybrané období

3 Hodnocení bezporuchovosti systému požární ochrany vozidla

3.1 Specifikace vozidla

V této práci se zaměřím na vozidlo od společnosti Siemens. Jedná se o vozovou jednotku metra, která pracuje v automatickém provozu bez strojvedoucího (GOA4). Jednotka se skládá z dvou vozů čelních a dvou vozů vložených.

Blokové schéma uspořádání vozů jednotky je zobrazeno níže (Obrázek 3.1). Uspořádání obou verzí systému protipožární ochrany je popsáno v odstavci 3.1.2.

Od zadavatele počítáme s ujetou dráhou 150 000 km za rok. Jednotka bude připojena na napájení po dobu 6 600 hodin/rok, z tohoto času bude v provozu po dobu 4 500 hodin. Z těchto hodnot vyplývá že vozidlo bude průměrně 18 hodin denně na napájení. Dále uvažujeme s náklady na personál údržby v hodnotě 60 EUR/hodinu. Všechny tyto hodnoty považujeme po dobu životnosti 30 let a během této doby je považujeme za neměnné.

Tabulka 3.1 Parametry provozu od zadavatele [9]

Parametry		
Dráha ujetá za rok	150 000	km
Doba v provozu za rok	4 500	h
Doba na napájení za rok	6 600	h
Doba na napájení za den	18	h
Náklady na personál	60	EUR/h
Délka životního cyklu	30	let



Obrázek 3.1 Blokové schéma uspořádání vozů

3.1.1 Parametry vozidla

Jedná se o jednotku složenou ze čtyř vozů, a to z dvou čelních vozů M1, M2 a dvou vozů vložených T1 a T2 viz. Obrázek 3.1. Další možné parametry jednotky jsou uvedeny v tabulce Parametry jednotky. Tyto parametry v této práci nezohledňujeme.

Tabulka 3.2 Parametry jednotky [6]

Technické parametry	Základní konfigurace	Varianty
Konfigurace jednotky	4 vozy, Motorizace 50 %	Od dvou do osmi vozů Motorizace až do 100 %
Materiál těla vozu	Hliník	Nerezová ocel
Napájení	750 V DC	1 500 V DC pantograf
Délka přes spřáhla	20.1 m / 19.4 m (konec vozu/přechod vozu)	18.6 m až do přibližně 22.0 m
Šířka vozu mezi dveřmi	2.77 m	2.63 m až do přibližně 3.0 m
Typ dveří	Exteriérové posuvné dveře	Posuvné zástrčné dveře
Počet dveří pro pasažéry na jedné straně vozu / šířka dveří	4 / 1 400 mm	3 / 1 400 mm
Maximální zatížení nápravy	Přibližně 13 t	Přibližně od 16 t do 17 t
Uspořádání sedadel	Podélné uspořádání	Příčné a smíšené uspořádání
Počet cestujících na jednotku (7 osob/m ²)	1 450 pasažérů	Podle druhu jednotky a uspořádání interiéru
Sedadel na jednotku	256	Podle druhu jednotky a uspořádání interiéru
Rozchod	1 435 mm	-
Maximální provozní rychlost	80 km/h	100 km/h
Stupeň automatizace řízení	GOA4	GOA2, GOA3, GOA4

3.1.2 Specifikace jednotky z pohledu požární bezpečnosti

Požární bezpečnost jednotky byla určena podle normy EN 45545. Nejdříve byla určena operativní kategorie jednotky. Tedy v jakém prostředí je jednotka provozována. Parametry byly určeny z Tabulka 1.1.

Z normy byla určena operační kategorie jednotky jako operační kategorie 2.

Tato kategorie platí pro vozidla, která jsou provozována v podzemních úsecích, nebo v tunelech, či na vyvýšených platformách. Boční evakuace je možná a na trati jsou umístěny stanice, nebo záchrané stanice. Cestující musí mít možnost evakuace v krátkém čase do bezpečných míst.

Tato kategorie je dále specifikovaná časem evakuace cestujících, který by měl odpovídat čtyřem minutám. Minimální průměrná rychlost v infrastruktuře, ve které se vozidlo pohybuje by měla dosahovat rychlosti 80 km/h.

Dále byla z normy EN 45545 určena konstrukční kategorie. Jednotka byla přiřazena do kategorie A. Jedná se tedy o specifikaci, ve které vozidla tvoří část jednotky automatického provozu bez vyškoleného personálu na stanovišti pro řízení.

3.2 Specifikace systému protipožární ochrany

Systém se skládá ze čtyř částí. Řídicí systém detekce kouře vyhodnocuje jednotlivé signály přijaté ze sběrnice. Na sběrnici je připojen vnitřní a vnější systém detekce kouře/požáru. Detektoru teploty pod vozovou skříní, který je propojen s vnitřním systémem detekce kouře. Jednotlivé vozy jsou po celé délce propojeny sběrníci, která propojuje celý systém. Spolehlivost nadřazené sběrnice v této práci zanedbáváme. K názornosti byly vytvořeny bloková schémata jednotlivých variant vozů. V blokových schématech jsou znázorněny jednotlivé prvky.

V tabulce (Tabulka 3.3) níže je zobrazena intenzita poruch jednotlivých komponentů v systému protipožární ochrany ze spolehlivostní analýzy. Intenzita je uvedena v procentech a v intenzitě poruch FIT. Je zde uvedena procentuální intenzita jednotlivých poruchových stavů komponentů. Ve všech případech se celková intenzita rovná intenzitě jednotlivých stavů. Jediná výjimka nastává v případě vnitřní detekce kouře. Tato situace nastává z důvodu provázanosti systému vnitřní detekce kouře a řízení systému lineární teplotní detekce.

Tabulka 3.3 Spolehlivostní analýza [9]

Spolehlivostní analýza			
Řídící jednotka	Celková intenzita [FIT]		3 600
Bez okamžitého efektu	30 %	1 080	FIT
Ztráta funkce	70 %	2 520	FIT
DC/DC konvertor	Celková intenzita [FIT]		800
Ztráta funkce	100 %	800	FIT
PC rozhraní gateway	Celková intenzita [FIT]		2 400
Ztráta funkce	100 %	2 400	FIT
Jednotka detekce kouře	Celková intenzita [FIT]		5 360
Bez okamžitého efektu	10 %	536	FIT
Ztráta funkce	90 %	4 824	FIT
Vzduchový filtr	Celková intenzita [FIT]		10
Ztráta funkce	100 %	10	FIT
Kouřový detektor	Celková intenzita [FIT]		1 310
Bez okamžitého efektu	15 %	197	FIT
Falešný alarm	3 %	39	FIT
Ztráta funkce – detekce kouře	50 %	655	FIT
Ztráta funkce – řídicí systém lineární teplotní detekce	65 %	852	FIT
Smyčka lineární teplotní detekce	Celková intenzita [FIT]		2
Falešný alarm	50 %	1	FIT
Ztráta funkce	50 %	1	FIT

Níže uvedená tabulka (Tabulka 3.4) poukazuje na řešení jednotlivých případů z výše uvedené tabulky (Tabulka 3.3) z hlediska provozní spolehlivosti posuzované jednotky. V případě, kdy je zachována funkce z důvodu redundance, nebo v případě kdy nemá událost okamžitý vliv, zůstává jednotka v provozu do konce dne. Tato porucha bude opravena při další odstávce v depu (zpravidla během následující noci, kdy není jednotka v provozu).

V obou případech falešného alarmu musí být v další stanici jednotka zastavena. Po zastavení je provedena kontrola staničním pracovníkem, zda se jedná o planý poplach. V případě planého poplachu následuje reset systému. Vzniká zpoždění. Při falešném alarmu lineárního teplotního detektoru jednotka musí být v další stanici stažen z provozu v nouzovém režimu. Jednotka je stažena z provozu z důvodu, že restart není možný.

Když nastane případ ztráty funkce v jednom kontejneru/voze/jednotce není provoz jednotky z bezpečnostních důvodů možný. Následuje okamžité stažení jednotky z provozu v následující stanici.

Tabulka 3.4 Jednotlivé akce po nastalé situaci

Řešení jednotlivých případů	
Bez okamžitého efektu	Jednotka zůstává v provozu do konce dne.
Ztráta funkce – záložní funkce k dispozici	Jednotka zůstává v provozu do konce dne.
Falešný alarm – kouřový detektor	Zablokování trakce v další stanici. Reset systému. Provozní zpoždění.
Falešný alarm – lineární teplotní detektor	Zablokování trakce v další stanici. Reset systému není možný. Okamžité stažení jednotky z provozu.
Ztráta funkce v jednom kontejneru/voze/jednotce	Provoz není možný z bezpečnostních důvodů. Okamžité stažení jednotky z provozu v další stanici.

3.2.1 Specifikace poruch s vlivem na zpoždění

Zpoždění je situací, které chceme zamezit. Zamezujeme jí zvyšováním bezpečnosti jednotky a jednotlivých vozů. Specifikace zpoždění proběhlo do šesti skupin podle vlivu na provoz jednotky dle provozovatele.

FC1/FC2 – porucha nenarušuje provoz jednotky, ale jednotka je co nejdříve ve vhodné stanici nahrazena jinou jednotkou. Stažení jednotky je zdůvodněno bezpečnostním hlediskem.

FC3 – porucha způsobující zpoždění od dvou minut. Porucha může být způsobena například falešným alarmem prvku protipožární ochrany, který musí být ručně resetován.

FC4 – porucha způsobující zpoždění od čtyř minut, nebo porucha která způsobí okamžité stažení jednotky. Porucha s nutností stažení jednotky představuje situaci, ve které není možný další provoz jednotky z bezpečnostních důvodů. Cestující opouští jednotku v další stanici.

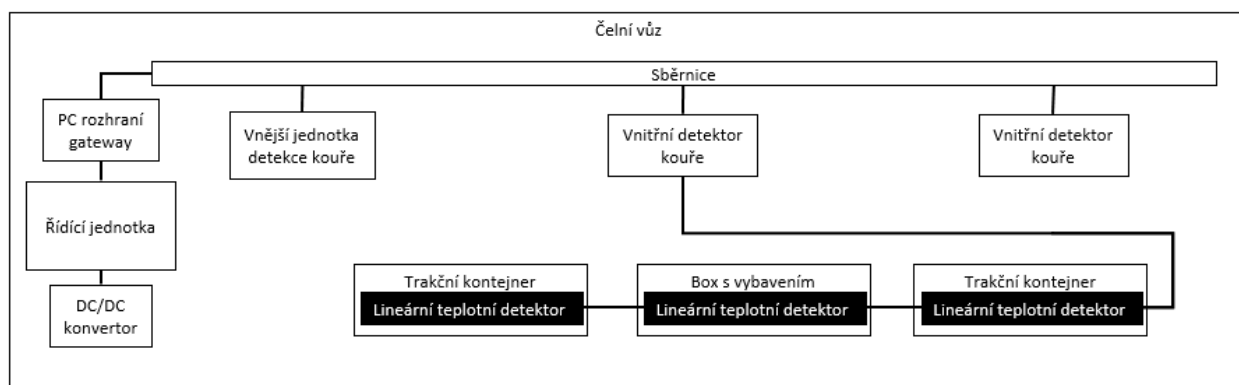
FC5 – porucha způsobující zpoždění třicet a více minut. Jednotka není sama schopna pohybu. Jednotku je nutno přesunout pomocným záchranným vozidlem.

FC6 – porucha způsobující poruchu zpoždění šedesát a více minut. Nebo potřebu evakuace cestujících na trať, nebo do jiné jednotky.

3.2.2 Systém protipožární ochrany bez zálohování

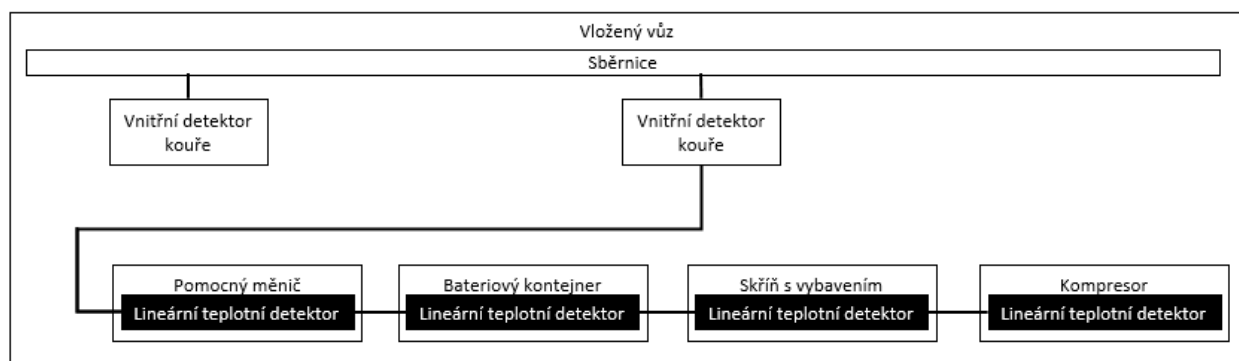
Verze systému bez zálohování je složena z řídicího systému, který je umístěn v jednom čelním voze. Řídicí systém je složen z řídicí jednotky, DC/DC konvertoru a PC rozhraní gateway. Vnější jednotka detekce kouře je umístěna také pouze v jednom čelním voze. Jednotka je umístěna ve stejném voze jako řídicí systém. Z hlediska využití systému klimatizace jsou vnitřní detektory kouře dva. Jeden z vnitřních detektorů kouře je propojen

s kontejnery obsahující lineární teplotní detektory. Každý jeden kontejner/box obsahuje jeden lineární teplotní detektor.



Obrázek 3.2 Blokové schéma čelního vozidla – Verze bez zálohování

U vloženého jsou opět dva vnitřní detektory v systémech klimatizace. Detektory jsou napojeny na čtyři jednotlivé kontejnery obsahující každý po jednom lineárním teplotním detektoru. Detektory odvádí signál přes sběrnici do řídicí jednotky. Druhý vložený vůz je symetrický.



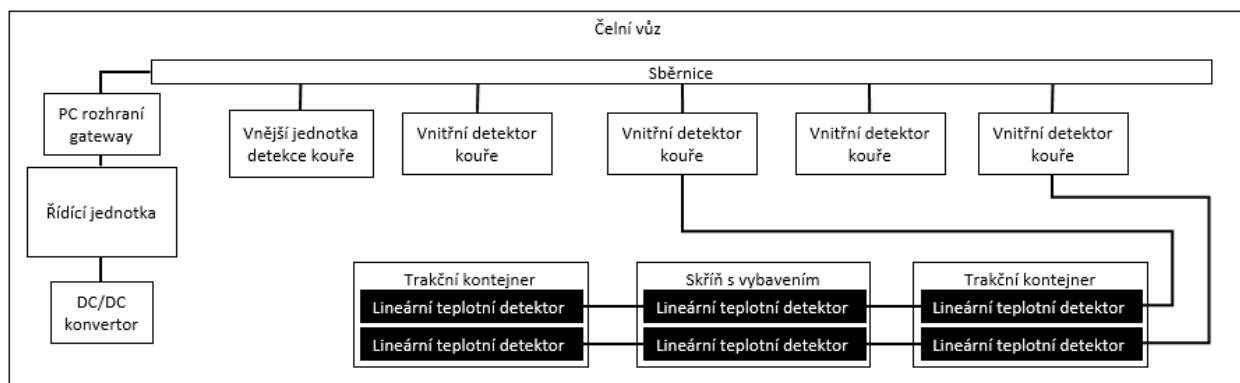
Obrázek 3.3 Blokové schéma vloženého vozidla – Verze bez zálohování

3.2.3 Systém protipožární ochrany se zálohováním

Tato verze systému má vytvořené zdvojování jednotlivých komponent. Zdvojování způsobí zvýšení bezpečnosti a tím i zlepšení provozní spolehlivost jednotky. Na obrázku Obrázek 3.4 vidíme uspořádání systému protipožární ochrany pro čelní vozidla. Zálohovány jsou všechny komponenty. Vnější detektor kouře, řídicí jednotka, DC/DC konvertor a PC rozhraní gateway mají zálohu umístěnou v čelním vozidle na druhé straně jednoty. Dále můžeme vidět zdvojení u vnitřních detektorů kouře, které jsou umístěny v systému klimatizace (dva v každé klimatizační jednotce). Řízení každé větve lineární teplotní detekce je zajištěno vždy z jednoho

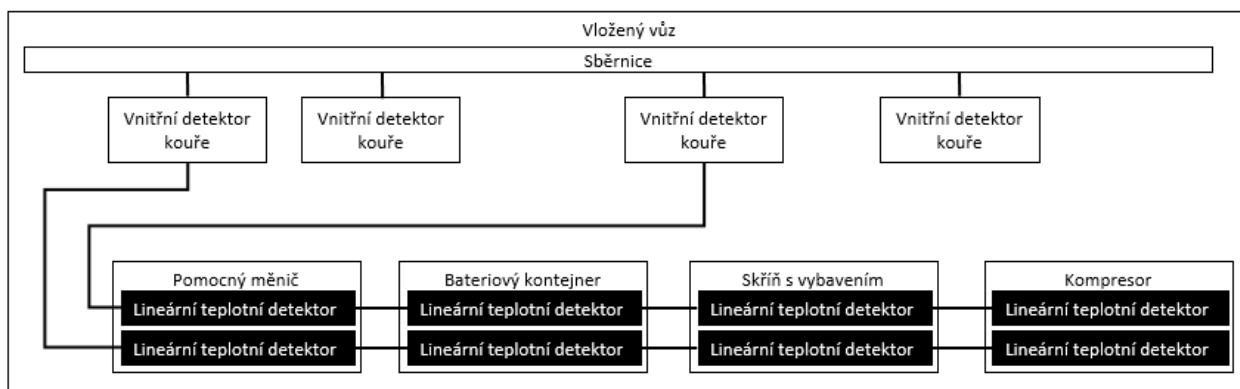
vnitřního detektoru kouře. Do detektorů jsou přivedeny signály z lineárních teplotních detektorů umístěných v jednotlivých kontejnerech, kde jsou zdvojeny.

Dále je znázorněno zdvojení u vnitřních detektorů kouře, z nichž dva jsou připojeny na systém klimatizace. Do vnitřních detektorů jsou přivedeny signály z lineárních teplotních detektorů umístěných v jednotlivých kontejnerech, kde jsou zdvojeny.



Obrázek 3.4 Blokové schéma čelního vozidla – Verze se zálohováním

Na obrázku Obrázek 3.5 níže se nachází blokové schéma vložených vozů. Vložené vozy obsahují čtyři vnitřní detektory kouře. Dva z nich jsou připojeny ke kontejnerům obsahující lineární teplotní detektory. Dva vnitřní detektory kouře jsou připojeny k systému klimatizace.



Obrázek 3.5 Blokové schéma vloženého vozu – Verze se zálohováním

3.3 Hodnocení spolehlivosti s využitím FTA

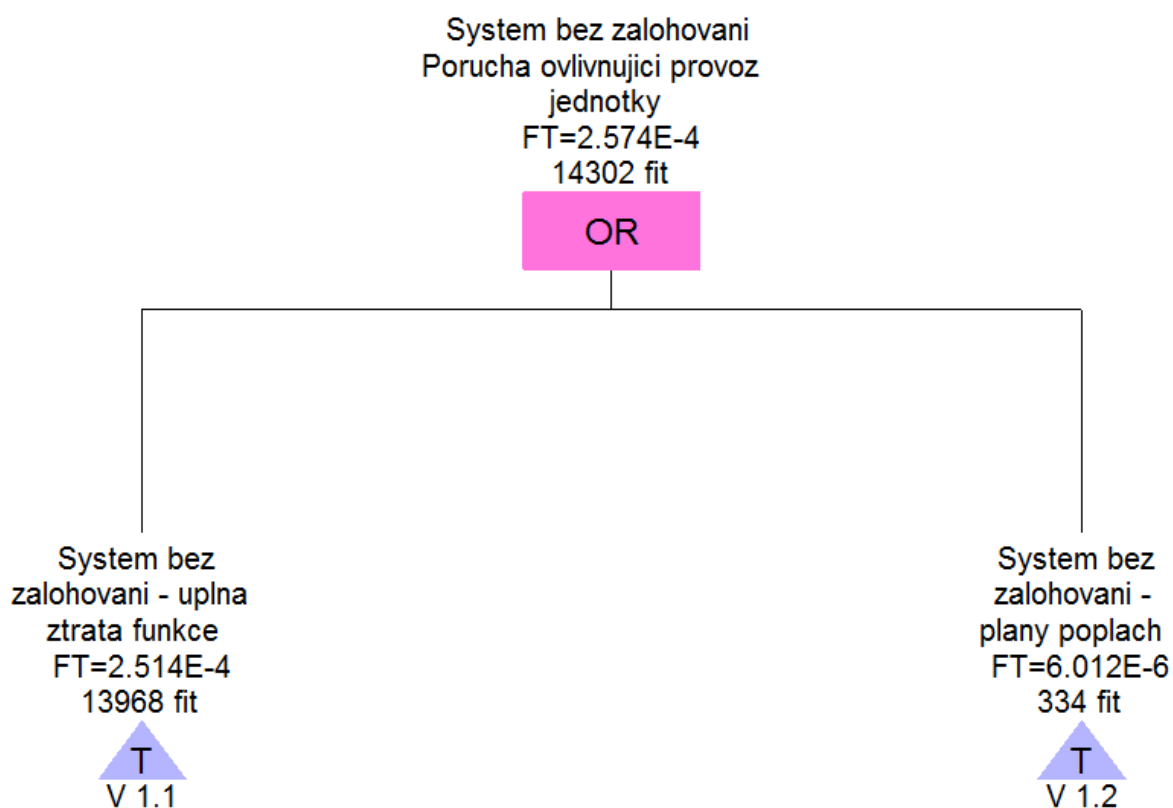
Stromy poruchových stavů FTA byly vytvořeny pomocí interního softwarového nástroje. Hodnoty jsou udávány v hodnotách FIT. Pro obě varianty byly vytvořeny vrcholový strom poruch, který obsahuje dva podřízené stromy poruch. Nejdříve byl vytvořen vrcholový strom,

určující intenzitu poruch ovlivňující provoz vozidla. Tyto vrcholové stromy se svou strukturou shodují jak pro variantu se zálohováním, tak pro variantu bez zálohování.

Poté byly vytvořeny stromy pro hodnocení úplné ztráty funkce jednotky. Následně byly vytvořeny stromy pro analýzu planého poplachu. Při konstrukci stromů byly použity převážně hradla OR a hradla m z n. Intenzita poruch byla počítána pro interval jednoho dne na napájení, tj. 18 hodin. Poruchy se mohou vyskytnout pouze během jednoho dne. Odstranění poruchy je provedeno během následujícího odstavení jednotky.

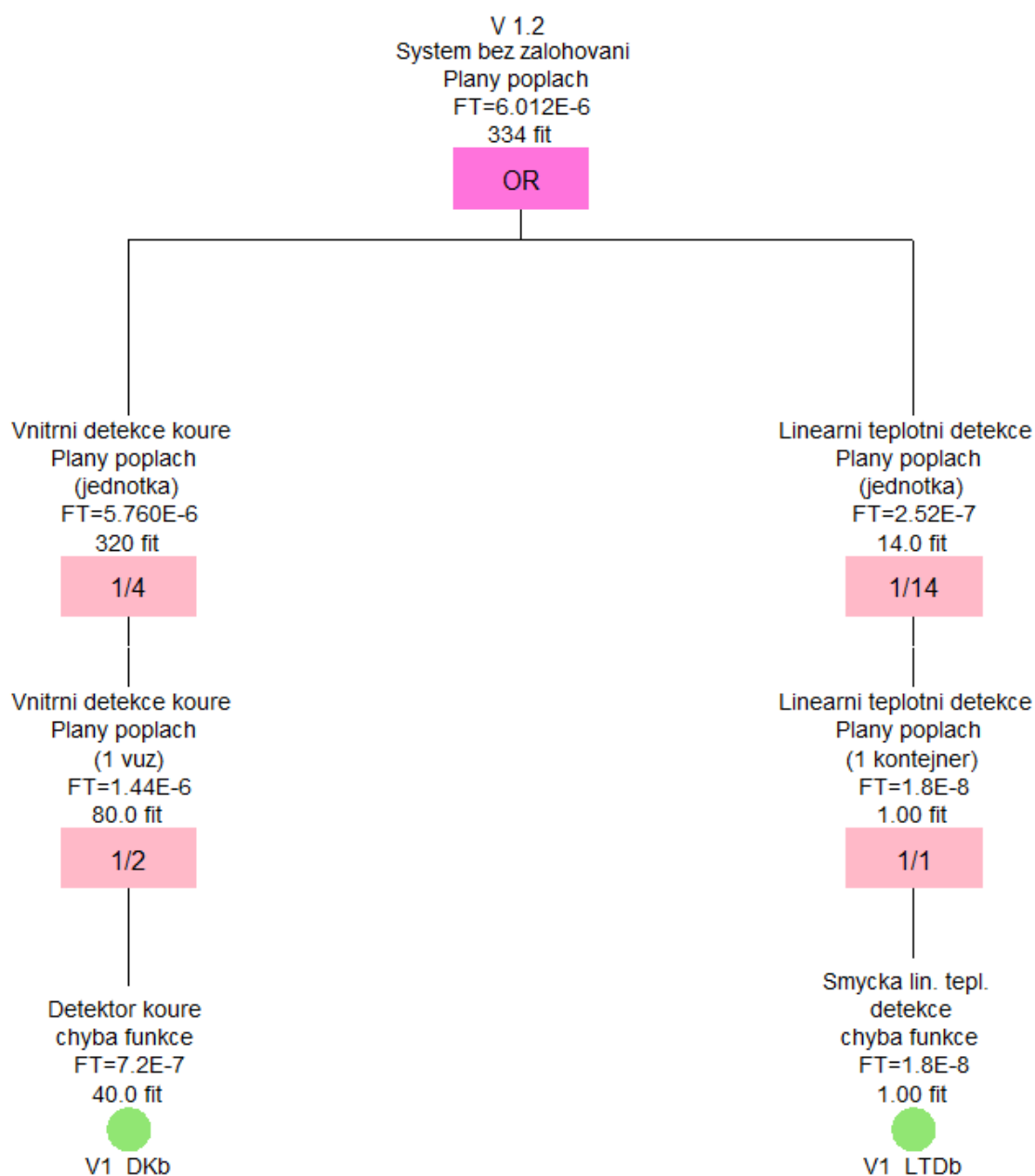
3.3.1 FTA strom pro systém bez zálohování

Strom vrcholové události systému bez zálohování – porucha ovlivňující provoz jednotky. Vrcholová událost nastane v případě úplné ztráty funkce, nebo v případě planého poplachu. V tomto případě vidíme, že poruchu ovlivňující provoz vozidla podstatnějším způsobem ovlivňuje část stromu určující úplnou ztrátu funkce, který má intenzitu poruch 13 958 FIT. Méně významný vliv má na vrcholovou událost planý poplach s intenzitou 334 FIT. Výsledná intenzita poruch ovlivňující provoz odpovídá hodnotě 14 292 FIT. FTA stromy jsou vytvořeny s pomocí blokových schémat (Obrázek 3.2 a Obrázek 3.3).



Obrázek 3.6 Systém bez zálohování – Porucha ovlivňující provoz vozidla

Dále byla vytvořena část stromu určující hodnotu planého poplachu pro systém bez zálohování. Planý poplach nastane v případě planého poplachu jakéhokoliv vnitřního detektoru kouře, nebo v případě planého poplachu smyčky lineární teplotní detekce.



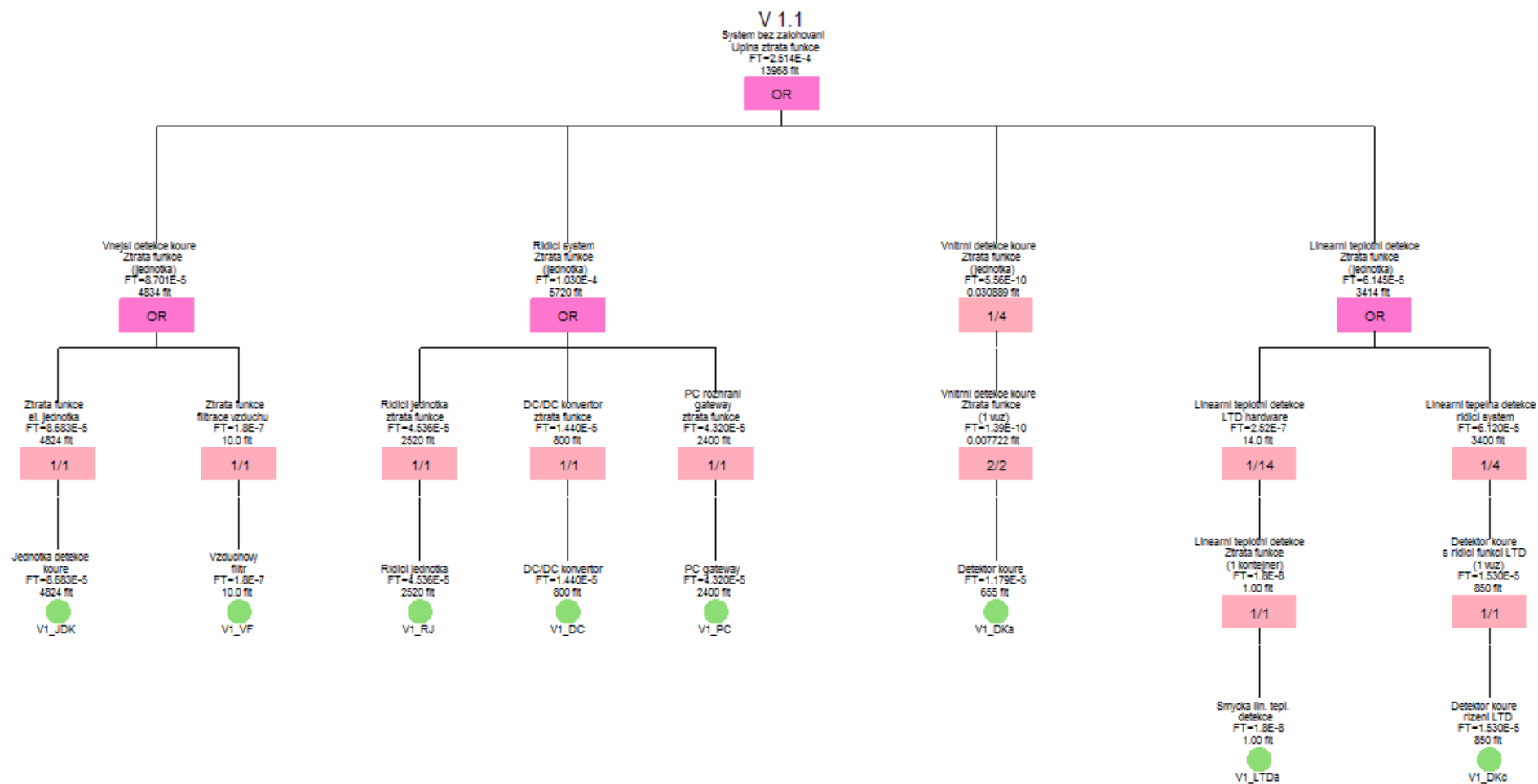
Obrázek 3.7 Systém bez zálohování – Planý poplach

Vrcholová událost stromu FTA pro úplnou ztrátu funkce systému bez zálohování nastává v několika případech.

Může nastat ztráta funkce vnější detekce kouře. Tato událost nastane v případě poruchy detektoru kouře, nebo ztráty funkce filtrace vzduchu.

Dále může vrcholová událost nastat v případě ztráty funkce jakéhokoliv prvku řídicího systému. Ztráta funkce může nastat také v případě ztráty funkce obou vnitřních detektorů v jednom voze.

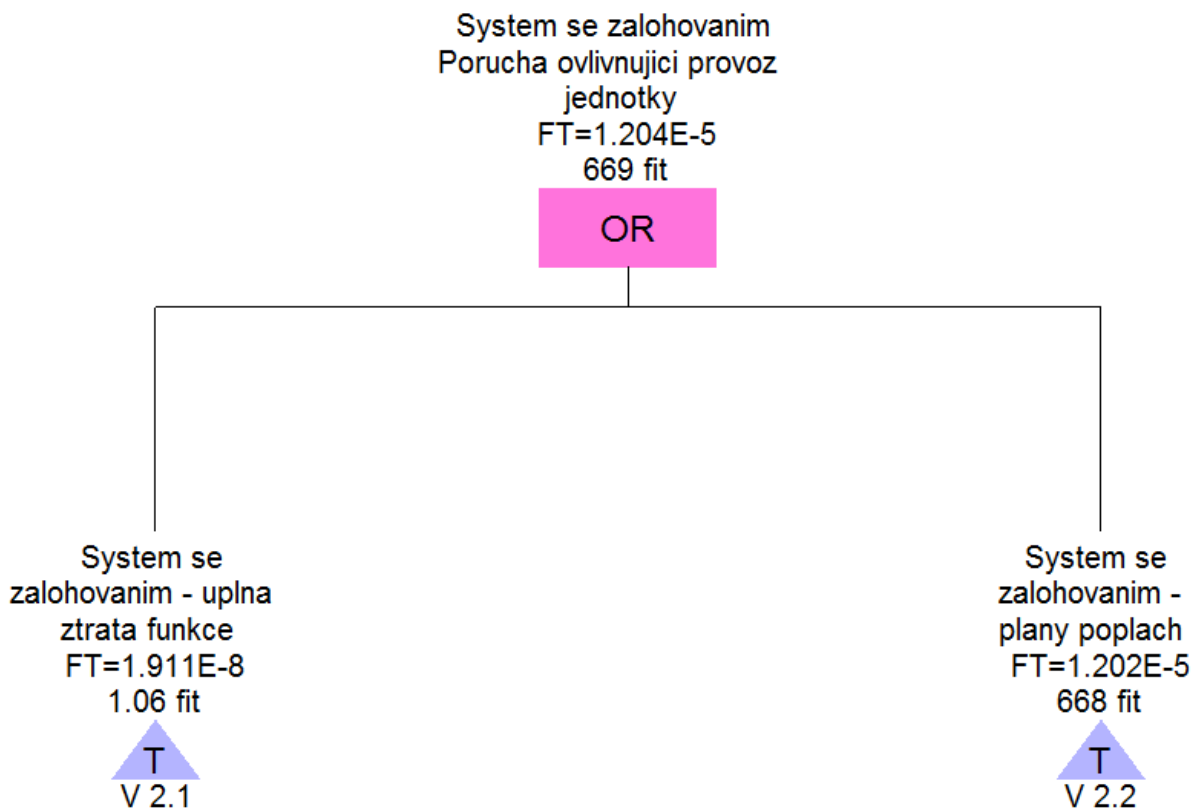
Ztráta funkce lineární teplotní detekce nastane v případě poruchy jednoho lineárního teplotního detektoru, nebo v případě poruchy řídicí funkce detektoru kouře. Která byla vyhodnocena spolehlivostní analýzou jako 65 % celkové intenzity poruchy vnitřní detekce kouře. Při konstrukci bylo vycházeno z obrázků Blokové schéma čelního vozidla – Verze bez zálohování a Blokové schéma vloženého vozidla – Verze bez zálohování.



Obrázek 3.8 Systém bez zálohování – úplná ztráta funkce

3.3.2 FTA strom pro systém se zálohováním

Strom vrcholové události systému se zálohování – porucha ovlivňující provoz jednotky. Vrcholová událost nastane v případě úplné ztráty funkce, nebo v případě planého poplachu. V tomto případě vidíme, že poruchu ovlivňující provoz vozidla podstatnějším způsobem ovlivňuje část stromu určující planý poplach systému, který má intenzitu poruch 668 FIT. Méně významný vliv má na vrcholovou událost úplná ztráta funkce s hodnotou 1,06 FIT. Výsledná intenzita poruch ovlivňující provoz odpovídá hodnotě 669 FIT. FTA stromy byly vytvořeny s pomocí blokových schémat (Obrázek 3.4 a Obrázek 3.5).

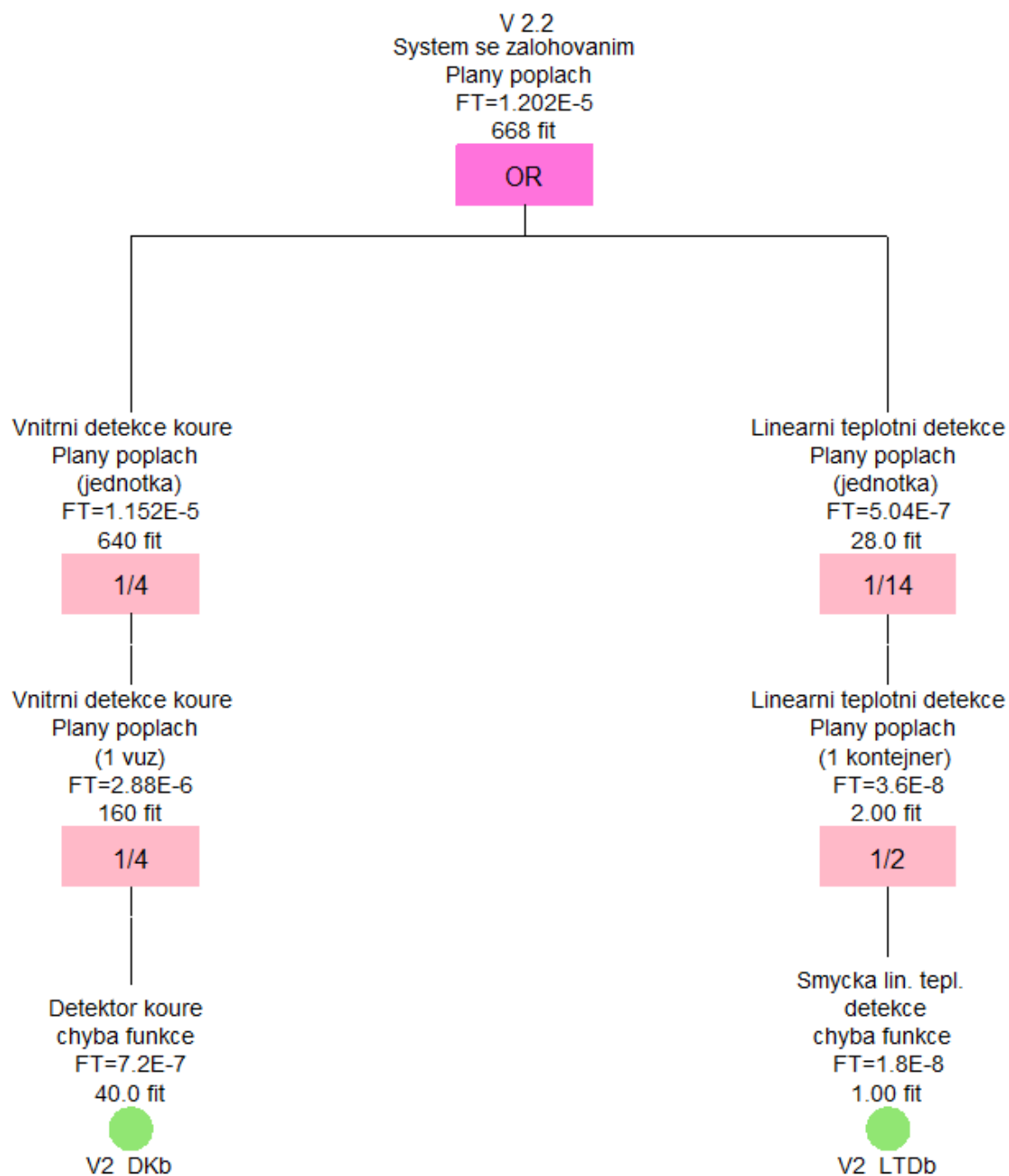


Obrázek 3.9 FTA Systém se zálohováním – Porucha ovlivňující provoz vozidla

V případě planého poplachu je strom rozdělen pouze do dvou větví. První větev určuje hodnotu pro falešný poplach pro vnitřní detekci kouře, který nastane v případě planého poplachu jednoho vnitřního detektoru kouře. Hodnota vychází ze spolehlivostní analýzy.

Pro falešný poplach lineárního teplotního detektoru byly hodnoty také určeny ze spolehlivostní analýzy. Planý poplach nastává v případě planého poplachu jedné smyčky lineárního teplotního detektoru v jednom kontejneru.

Jako koncová událost je uveden planý poplach systému s hodnotou 669 FIT.



Obrázek 3.10 Systém se zálohováním – Planý poplach

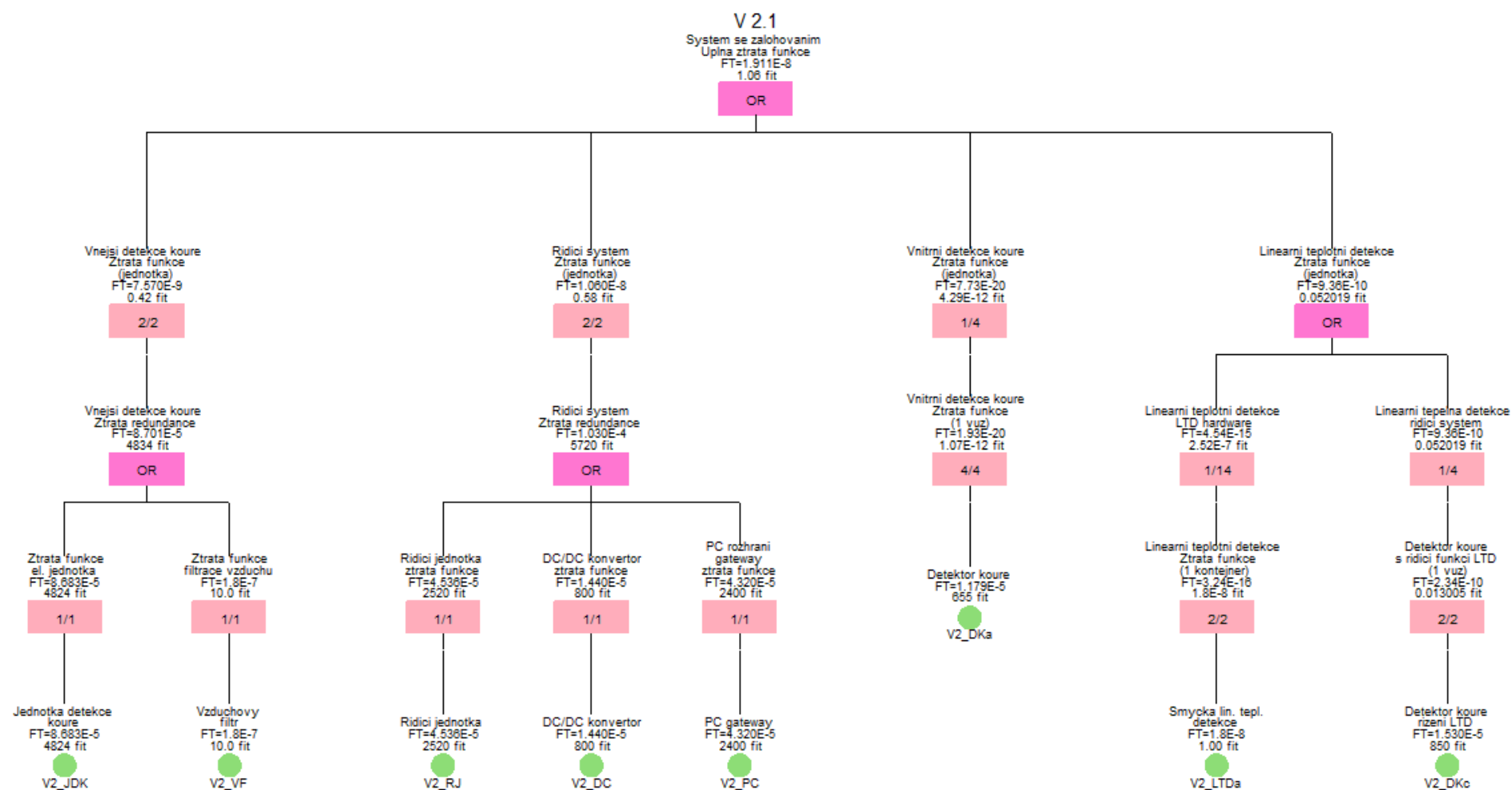
Vrcholový strom pro úplnou ztrátu funkce jednotky viz níže. Tento strom je rozvětven do čtyř větví, z pohledu blokových schémat, která byla uvedena výše (Obrázek 3.4 a Obrázek 3.5). Vrcholová porucha může nastat v pěti případech,

Ztráta funkce vnější detekce kouře nastane v případě ztráty funkce pro celou jednotku. Tato situace nastane v případě, že nastane porucha na obou vnějších systémech protipožární ochrany.

Pro řídicí systém nastává porucha v obdobném případě jako v případě vnější detekce kouře. Tedy v případě poruchy jednoho komponentu v obou řídicích systémech.

U vnitřní detekce kouře vidíme, že úplná ztráta funkce systému nastane pouze v případě, že se porouchají v jednom voze všechny čtyři vnitřní detektory kouře. Toto platí při předpokladu, že obě klimatizační jednotky jsou provozuschopné.

Pro poruchu systému lineární teplotní detekce byl zahrnut vnitřní detektor kouře s řídicí funkcí lineární teplotní detekce. Pravděpodobnost této situace byla vyhodnocena ve spolehlivostní analýze a odpovídá 65 % celkové spolehlivosti vnitřního detektoru kouře. Tímto nastane porucha v případě ztráty dvou lineárních teplotních detektorů v jednom kontejneru pro celou jednotku. Dále může porucha nastat v případě ztráty řídicí funkce (popsáno výše).



Obrázek 3.11 Systém se zálohováním – Úplná ztráta funkce

4 Predikce nákladů LCC systému protipožární ochrany vozidla

Predikce nákladů LCC pro systém protipožární ochrany byla vytvořena podle parametrů získaných od výrobců jednotlivých komponentů. V odstavci 0 je uvedena tabulka intervalů údržby, vycházející z programu preventivní údržby pro předpokládanou životnost.

Pro konečné porovnání byly vytvořeny dva modely nákladů LCC pro výpočet nákladů údržby. Jeden model pro systém se zálohováním a druhý model pro systém bez zálohování. Oba modely jsou dále rozděleny do dvou částí. První část určuje náklady na preventivní údržbu. Druhá část udává náklady na předpokládanou korektivní údržbu.

Pro oba modely byly také vytvořeny grafy predikce ročních nákladů pro celkovou předpokládanou životnost jednotky. V poslední části jsou vytvořeny grafy pro náklady jednotlivých částí systému. Veškeré náklady jsou uvedeny v eurech. Všechny tabulky a grafy pro predikci byli vytvořeny v programu Excel 2016. Náklady korektivní údržby nejsou počítány s ohledem na sankce za předpokládaná zpoždění.

4.1 Intervaly údržby

Intervaly preventivní údržby jsou shodné pro oba systémy, tedy pro zálohovaný systém i systém bez zálohy. Tabulka základních intervalů vychází ze stanoveného programu preventivní údržby, který byl definován provozovatelem jednotky. Intervaly preventivní údržby požadované výrobcem, se ve velké míře shodují s intervaly programu údržby jednotek a nebylo je nutné přizpůsobovat.

Interval, který bylo potřeba přizpůsobit je interval pro výměnu detektoru kouře. Základní interval výměny je 120 000 hodin. Tato hodnota odpovídá přibližně 18 letem a 2 měsícům, při průměrné době na napájení za den. Tato doba musela být přizpůsobena předepsaným intervalům údržby. Doba byla zaokrouhlena na nejbližší nižší interval 16 let.

Tabulka 4.1 Interval údržby

Vzdálenost [km]	Časový interval
37 500	3 měsíce
75 000	6 měsíců
150 000	1 rok
300 000	2 roky
600 000	4 roky
1 200 000	8 let
2 400 000	16 let

4.2 Predikce nákladů LCC – parametry preventivní a korektivní údržby

Nejdříve je vytvořena tabulka s určením rozdělení jednotlivých částí systému a komponentů. Ke každému komponentu je přiřazena odpovídající aktivita údržby určená výrobcem. Dále je uveden interval údržby. Pro preventivní výměnu vnitřního detektoru kouře je uveden základní uvedený interval údržby. Tabulka je doplněna o údaje potřebné k výpočtu ceny práce pracovníků údržby. Tato tabulka pro preventivní údržbu je shodná pro zálohovaný i nezálohovaný systém.

Tabulka 4.2 Intervaly preventivní údržby [9]

Systém/Komponent	Provedená aktivita	Interval údržby	Údržba	
			Pracovní zátěž [osmin]	Počet pracovníků
Řídicí systém detekce kouře				
Celý řídicí systém	Funkční kontrola	12 měsíců	15	1
Řídicí jednotka	Vizuální kontrola	12 měsíců	3	1
DC/DC konvertor	Vizuální kontrola	12 měsíců	2	1
PC rozhraní gateway	Vizuální kontrola	12 měsíců	1	1
Vnější systém detekce kouře – Nasávací detekce kouře				
Jednotka detekce kouře	Vizuální kontrola poškození Kontrola upevnění	6 měsíců	3	1
Jednotka detekce kouře	Funkční kontrola – alarm	12 měsíců	2	1
Jednotka detekce kouře	Funkční kontrola – chyba	12 měsíců	2	1
Jednotka detekce kouře	Revize (diagnostika)	120 měsíců	10	1
Jednotka detekce kouře	Preventivní výměna	120 měsíců	15	1
Vzduchový filtr	Vizuální kontrola na zanešení, čištění Kontrola upevnění	3 měsíce	5	1
Vzduchový filtr	Výměna	48 měsíců	5	1
Vnitřní systém detekce kouře – Bodová detekce kouře				
Detektor kouře	Vizuální kontrola na zanešení a poškození	6 měsíců	2	1
Detektor kouře	Funkční kontrola – alarm	12 měsíců	1	1
Detektor kouře	Funkční kontrola – chyba	12 měsíců	1	1
Detektor kouře	Preventivní výměna	120 000 hodin	15	1
Podvozkový detektor teploty – Lineární teplotní detekce				
Lineární teplotní detektor	Vizuální kontrola poškození	6 měsíců	1	1
Lineární teplotní detektor	Funkční kontrola – chyba	12 měsíců	2	1

Dále byla do tabulky preventivní údržby uvedena cena a specifikace použitého materiálu k údržbě. Tabulka zobrazuje pouze komponenty, u kterých je cena stanovena.

Tabulka 4.3 Náklady a specifikace materiálů preventivní údržby [9]

Systém/Komponent	Provedená aktivita	Materiály	
		Specifikace	Cena [EUR]
Vnější systém detekce kouře – Nasávací detekce kouře			
Jednotka detekce kouře	Funkční kontrola – alarm	Dýmová kapsle	1,3
Jednotka detekce kouře	Preventivní výměna	Jednotka detekce kouře	720
Vzduchový filtr	Výměna	Vzduchový filtr	26
Vnitřní systém detekce kouře – Bodová detekce kouře			
Detektor kouře	Funkční kontrola – alarm	Testovací plyn	0,5
Detektor kouře	Preventivní výměna	Detektor kouře	395

Tabulka intenzity poruch korektivní údržby určuje intenzitu poruchy. Tato hodnota byla dále použita k výpočtu předpokládaného počtu poruch. Dále tabulka určuje pracovní zátěž a počet pracovníků potřebných pro daný komponent. Tabulka byla vytvořena podle dat od výrobce a je shodná pro zálohovaný systém i nezálohovaný systém.

Tabulka 4.4 Intenzita poruch korektivní údržby [9]

Systém/Komponent	Provedená aktivita	Intenzita poruchy	Údržba	
			Pracovní zátěž [osmin]	Počet pracovníků
Řídicí systém detekce kouře				
Řídicí jednotka	Výměna	3 600 FIT	20	1
Řídicí jednotka	Externí oprava	3 600 FIT	20	1
DC/DC konvertor	Výměna	800 FIT	15	1
PC rozhraní gateway	Výměna	2 400 FIT	30	1
Vnější systém detekce kouře				
Jednotka detekce kouře	Výměna	5 360 FIT	15	1
Vzduchový filtr	Výměna	10 FIT	5	1
Vnitřní systém detekce kouře				
Detektor kouře	Výměna	1 310 FIT	15	1
Podvozkový detektor teploty				
Lineární teplotní detektor	Výměna	2 FIT	15	1

K tabulce intenzity poruch korektivní údržby byla následně přidána specifikace a cena použitých materiálů korektivní údržby. Nejdražším komponentem je řídicí jednotka. Nejdražším systémem je pak řídicí systém.

Tabulka 4.5 Náklady a specifikace materiálů korektivní údržby [9]

Systém/Komponent	Provedená aktivita	Materiály	
		Specifikace	Cena [EUR]
Řídicí systém detekce kouře			
Řídicí jednotka	Výměna	Řídicí jednotka	2 700
Řídicí jednotka	Oprava u externí firmy	Řídicí jednotka – oprava	1 500
DC/DC konvertor	Výměna	DC/DC konvertor	310
PC rozhraní gateway	Výměna	PC rozhraní gateway	1 460
Venkovní systém detekce kouře			
Jednotka detekce kouře	Výměna	Jednotka detekce kouře	720
Vzduchový filtr	Výměna	Set vzduchového filtru	26
Vnitřní systém detekce kouře			
Kouřový detektor	Výměna	Kouřový detektor	395
Podvozkový detektor teploty			
Lineární teplotní detektor	Výměna	Smyčka teplotního detektoru	16

Pro jednotlivé výpočty bylo potřeba vytvořit tabulku s počtem jednotlivých komponentů. Tyto tabulky jsou zobrazeny u jednotlivých predikcí.

4.3 Predikce nákladů LCC – systém bez zálohování

Nejdříve byla vytvořena tabulka určující počet jednotlivých komponentů. Pro konstrukci byla použita bloková schémata zobrazující systém bez zálohování (viz. Obrázek 3.2 a Obrázek 3.3)

Tabulka 4.6 Počty komponentů systému bez zálohování

Systém/Komponent	Čelní vůz 1	Vložený vůz 1	Vložený vůz 2	Čelní vůz 2
	Počet jednotlivých komponentů			
Řídicí systém detekce kouře				
Celý řídicí systém	1	0	0	0
Řídicí jednotka	1	0	0	0
DC/DC konvertor	1	0	0	0
PC rozhraní gateway	1	0	0	0
Vnější systém detekce kouře				
Jednotka detekce kouře	1	0	0	0
Vzduchový filtr	1	0	0	0
Vnitřní systém detekce kouře				
Detektor kouře	2	2	2	2
Podvozkový detektor teploty				
Lineární teplotní detektor	3	4	4	3

4.3.1 Predikce nákladů preventivní údržby systému bez zálohování

Pro určení nákladů preventivní údržby byly použity předchozí tabulky preventivní údržby obsažené v kapitole 4.2. Tyto tabulky byly sloučeny do jedné tabulky. Dále k tomuto výpočtu byla potřebná tabulka Interval údržby. Níže uvedené výpočty jsou shodné pro všechny komponenty vyjma preventivní výměny detektoru kouře. A to z důvodu že detektory kouře jsou preventivně vyměňovány po 16 letech. Náklady na práci a na materiál jsou ve vzorci uvedeny pouze jednou.

Pro výpočet nákladů na provedenou práci byl vytvořen vzorec obsahující celkový počet úkonů preventivní údržby bez poslední údržby v posledním roce životnosti. Pracovní zátěž v hodinách, hodinová sazba a počet jednotlivých komponentů v jednotce.

$$P_{PU} = \left(\frac{\check{Z} \cdot 12}{I} - 1 \right) \cdot \frac{P_z}{60} \cdot S \cdot \sum_{i=1}^n k_i \quad (4.1.)$$

P_{PU} – náklady na práci preventivní údržby [EUR]

\check{Z} – celková předpokládaná životnost jednotky [rok]

I – interval údržby [měsíc]

P_z – pracovní zátěž [osminuta]

S – hodinová sazba [EUR]

k_i – počet komponentů ve vozidle

n – počet vozidel

Výpočet nákladů na materiál byl proveden obdobným vzorcem s několika úpravami. Vzorec obsahuje počet úkonů preventivní údržby. Náklady jednotlivých materiálů a počet komponentů v jednom voze.

$$M_{PU} = \left(\frac{\check{Z} \cdot 12}{I} - 1 \right) \cdot N_k \cdot \sum_{i=1}^n k_i \quad (4.2.)$$

M_{PU} – náklady na materiál v preventivní údržbě [EUR]

N_k – náklady na materiál jednotlivých komponentů [EUR]

Součtem těchto dvou hodnot byla následně určena hodnota nákladů preventivní údržby jednotlivých komponentů.

$$NK_{PU} = M_{PU} + P_{PU} \quad (4.3.)$$

NK_{PU} – náklady preventivní údržby na komponent [EUR]

Následným součtem nákladů na komponent byly vypočteny náklady preventivní údržby jednotlivých systémů.

$$NS_{PU} = \sum_{i=1}^n NK_{PU_i} \quad (4.4.)$$

NS_{PU} – náklady jednotlivých systémů protipožární ochrany [EUR]

n – počet komponentů v systému

Tabulka 4.7 Predikce LCC preventivní údržby systému bez zálohování 1/2

Systém/Komponent	Provedená aktivita	Náklady na práci [EUR]	Náklady na materiál [EUR]	Náklady preventivní údržby [EUR]
Řídicí systém detekce kouře				
Celý řídicí systém	Funkční kontrola	435,00	0,00	435,00
Řídicí jednotka	Vizuální kontrola	87,00	0,00	87,00
DC/DC konvertor	Vizuální kontrola	58,00	0,00	58,00
PC rozhraní gateway	Vizuální kontrola	29,00	0,00	29,00
		Náklady na systém [EUR]		609,00
Vnější systém detekce kouře				
Jednotka detekce kouře	Vizuální kontrola poškození	177,00	0,00	177,00
	Kontrola upevnění			
Jednotka detekce kouře	Funkční kontrola – alarm	58,00	37,70	95,70
Jednotka detekce kouře	Funkční kontrola – chyba	58,00	0,00	58,00
Jednotka detekce kouře	Revize (diagnostika)	20,00	0,00	20,00
Jednotka detekce kouře	Preventivní výměna	30,00	1 440,00	1 470,00
Vzduchový filtr	Vizuální kontrola na zanešení, čištění	595,00	0,00	595,00
	Kontrola upevnění			
Vzduchový filtr	Výměna	32,50	196,00	201,50
		Náklady na systém [EUR]		2 617,20
Vnitřní systém detekce kouře				
Detektor kouře	Vizuální kontrola na zanešení a poškození	944,00	0,00	944,00
Detektor kouře	Funkční kontrola – alarm	232,00	116,00	348,00
Detektor kouře	Funkční kontrola – chyba	232,00	0,00	232,00
Detektor kouře	Preventivní výměna	120,00	3 160,00	3 280,00
		Náklady na systém [EUR]		4 840,00

Tabulka 4.8 Predikce LCC preventivní údržby systému bez zálohování 2/2

Systém/Komponent	Provedená aktivita	Náklady na práci [EUR]	Náklady na materiál [EUR]	Náklady preventivní údržby [EUR]
Podvozkový detektor teploty				
Lineární teplotní detektor	Vizuální kontrola poškození	816,00	0,00	816,00
Lineární teplotní detektor	Funkční kontrola – chyba	812,00	0,00	812,00
		Náklady na systém [EUR]		1 638,00
Celkové náklady preventivní údržby systému protipožární ochrany [EUR]				9 668,20

Celkové náklady preventivní údržby systému protipožární ochrany byly určeny součtem nákladů na jednotlivé systémy.

$$N_{PU} = \sum_{i=1}^n NS_{PU_i} \quad (4.5.)$$

n – počet systémů

4.3.2 Predikce nákladů korektivní údržby nezálohovaného systému

Pro výpočet predikce nákladů korektivní údržby byly použity tabulky korektivní údržby z kapitoly 4.2. Vybrané tabulky byly převedeny do jedné tabulky z důvodu zjednodušení.

První částí bylo určení počtu předpokládaného počtu celkových poruch pro jednu jednotku za předpokládanou dobu životnosti. Tato hodnota byla vypočtena z intenzit poruch za hodinu, počtem hodin na napájení během předpokládané životnosti a počtem vybraných komponentů v celé jednotce.

$$K_p = \frac{F}{10^9} \cdot H \cdot \tilde{Z} \cdot \sum_{i=1}^n k_i \quad (4.6.)$$

K_p – předpokládaný počet poruch během životnosti

F – intenzita poruch za hodinu [FIT]

H – doba na napájení za rok [h]

\tilde{Z} – předpokládaná životnost [rok]

k_i – počet komponentů v jednom voze

n – počet vozů

Druhou částí určení nákladů bylo určení nákladů na práci provedených aktivit v případě poruchy. V rovnici byla použita hodnota počtu předpokládaných poruch dále pracovní zátěž a hodinová sazba.

$$P_{KU} = K_p \cdot \frac{P_z}{60} \cdot S \quad (4.7.)$$

P_{KU} – náklady na práci korektivní údržby [EUR]

P_z – pracovní zátěž [osminuta]

S – hodinová sazba [EUR]

Následně bylo třeba určit náklady na materiál pro korektivní údržbu jednotlivých komponentů. Vzorec vychází z počtu poruch a nákladů materiálů na jednotlivé komponenty.

$$M_{KU} = K_p \cdot n \quad (4.8.)$$

M_{KU} – náklady na materiál korektivní údržby [EUR]

n – počet komponentů v systému

Celkové náklady jednotlivých komponentů v závislosti na provedených aktivitách údržby byly určeny ze součtu nákladů na práci a nákladů na materiál jednotlivých komponentů.

$$NK_{KU} = M_{KU} + P_{KU} \quad (4.9.)$$

NK_{KU} – náklady korektivní údržby jednotlivých komponentů [EUR]

Vypočtení nákladů na jednotlivé systémy bylo provedeno součtem všech nákladů na komponenty vybraného systému.

$$NS_{KU} = \sum_{i=1}^n NK_{KU_i} \quad (4.10.)$$

NS_{KU} – náklady jednotlivých systémů protipožární ochrany [EUR]

n – počet komponentů v systému

Tabulka 4.9 Predikce LCC korektivní údržby systému bez zálohování

Systém/Komponent	Provedená aktivita	Předpokládaný počet poruch během životnosti	Náklady na práci [EUR]	Náklady na materiál [EUR]	Náklady korektivní údržby [EUR]
Řídicí systém detekce kouře					
Řídicí jednotka	Výměna	0,7128	14,27	1 924,56	1 938,82
Řídicí jednotka	Externí oprava	0,42768	8,55	641,52	650,07
DC/DC konvertor	Výměna	0,1584	2,38	49,10	51,48
PC rozhraní gateway	Výměna	0,4752	14,26	693,79	708,05
		Náklady na systém [EUR]			3 348,42
Vnější systém detekce kouře					
Jednotka detekce kouře	Výměna	1,06128	15,92	764,12	780,04
Vzduchový filtr	Výměna	0,00198	0,01	0,05	0,06
		Náklady na systém [EUR]			780,10
Vnitřní systém detekce kouře					
Kouřový detektor	Výměna	2,08	31,13	819,64	850,77
		Náklady na systém [EUR]			850,77
Podvozkový detektor teploty					
Lineární teplotní detektor	Výměna	0,00554	0,08	0,09	0,17
		Náklady na systém [EUR]			0,17
Předpokládané náklady korektivní údržby systému protipožární ochrany [EUR]					4 979,46

Celkové předpokládané náklady korektivní údržby byly určeny z níže uvedeného vzorce. Vzorec obsahuje součet celkových nákladů na jednotlivé systémy.

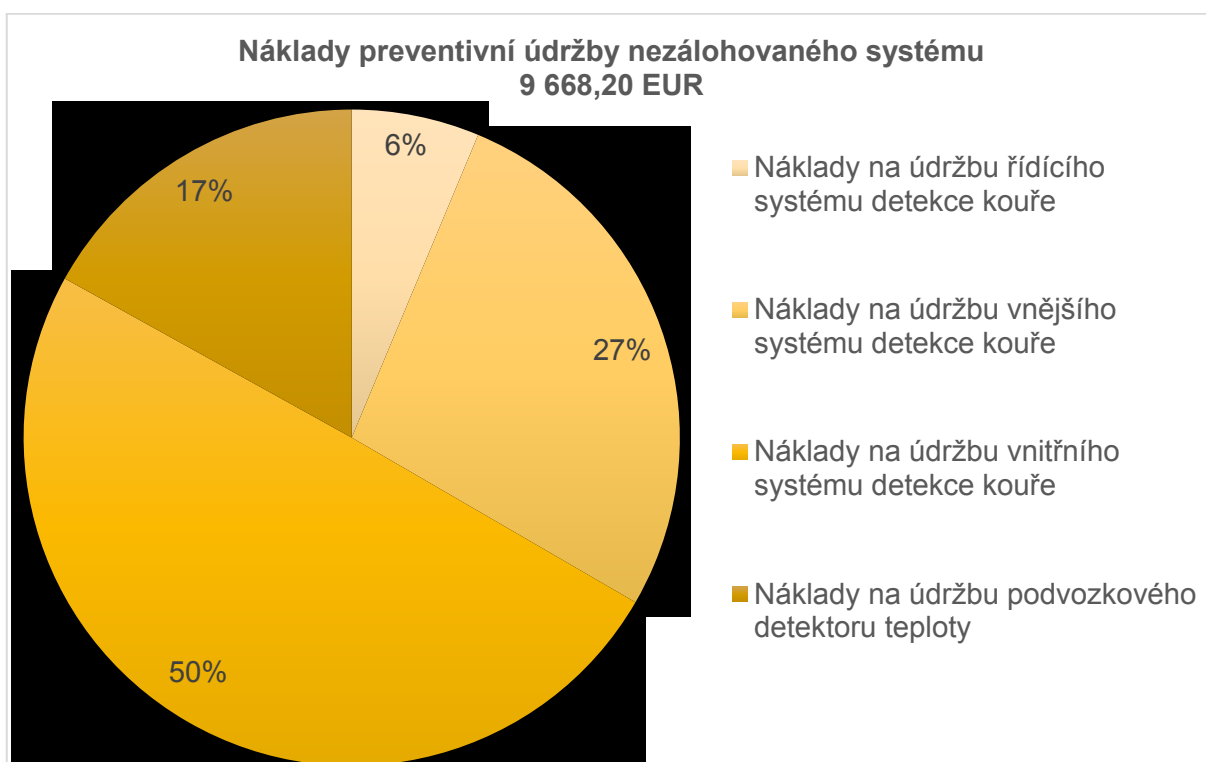
$$N_{KU} = \sum_{i=1}^n NS_{KU_i} \quad (4.11.)$$

n – počet systémů

4.3.3 Grafické vyjádření LCC – systém bez zálohování

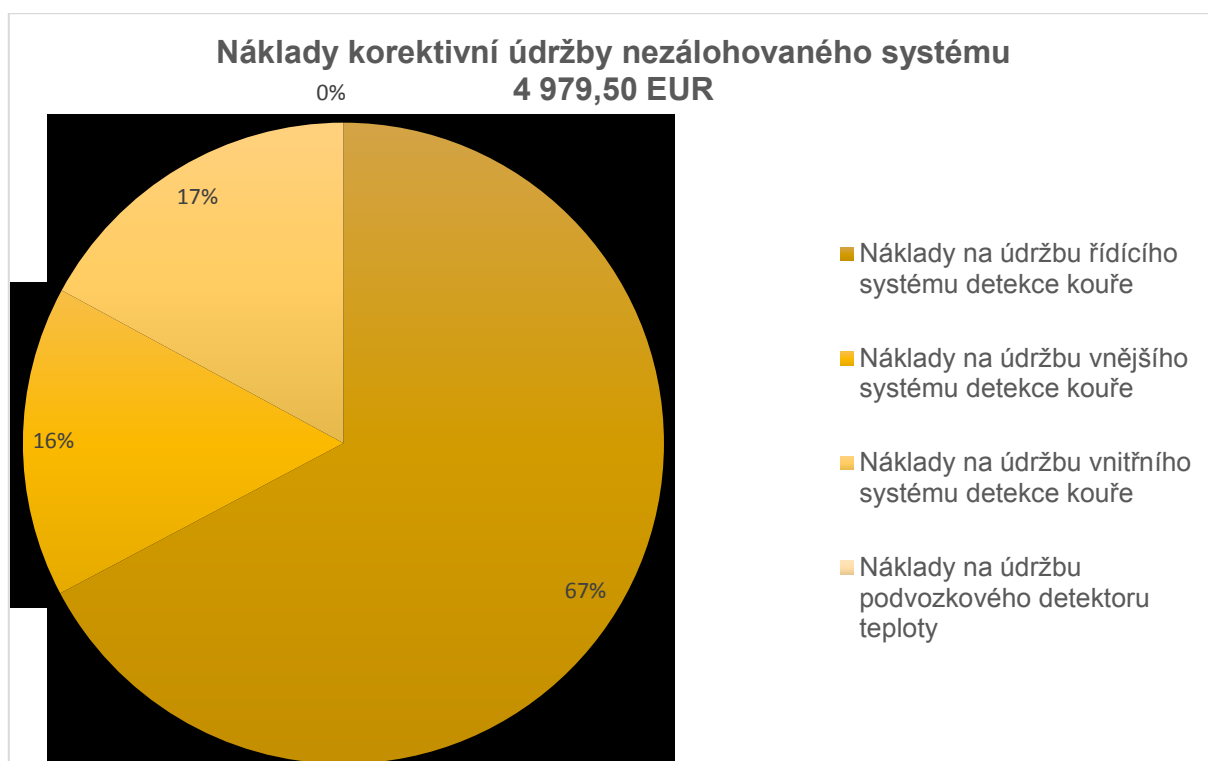
Pro snadnější porovnání nákladů jednotlivých systémů celého systému protipožární ochrany byly vytvořeny koláčové grafy pro jednotlivé náklady systémů.

Preventivní náklady nezálohovaného systému, které odpovídají částce 9 668,20 EUR. Největší hodnotu nákladů určují náklady na vnitřní detekci kouře, který odpovídá 50 % z celkových nákladů preventivní údržby. Tyto vysoké náklady jsou převážně z důvodu preventivní výměny, která nastává po šestnácti letech životnosti. Druhou největší částku představují náklady na systém vnější detekce kouře, které představují 27 %. Náklady preventivní údržby podvozkové detekce teploty tvoří 17 % nákladů. Zbýlých 6 % tvoří náklady na preventivní údržbu řídicího systému detekce kouře.



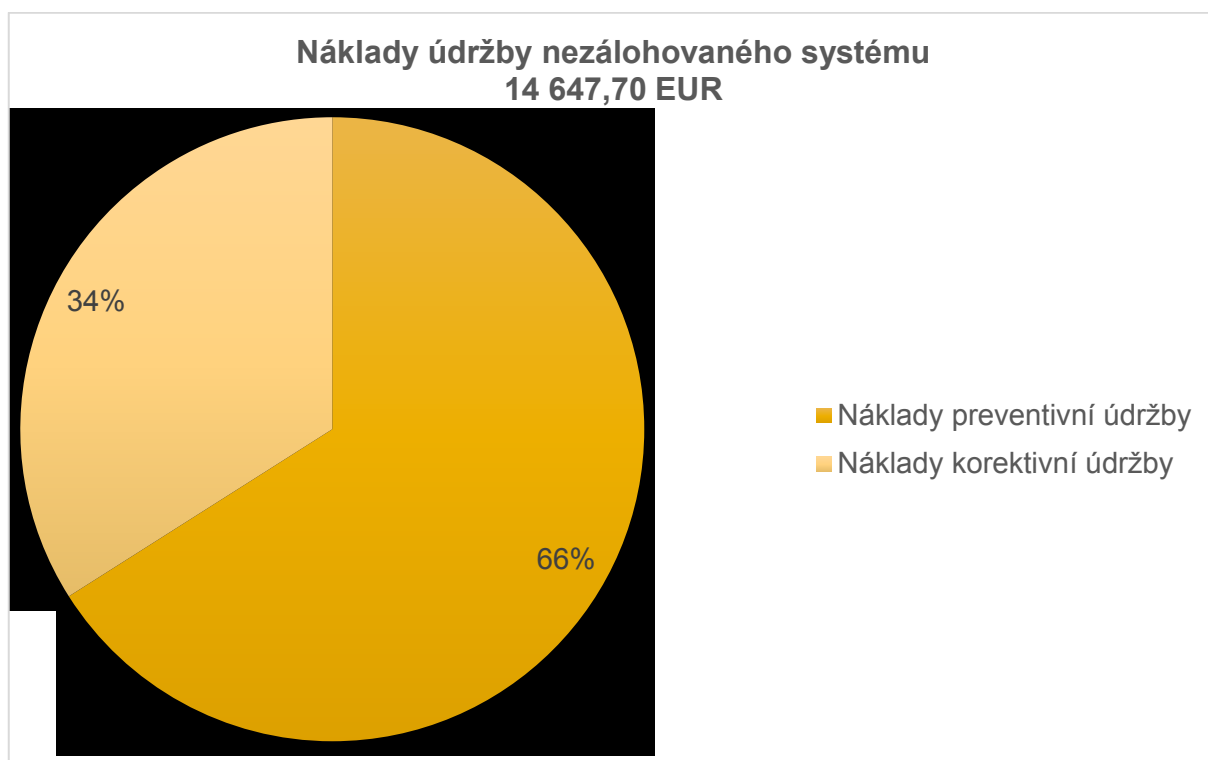
Obrázek 4.1 Náklady preventivní údržby nezálohovaného systému

Predikce nákladů korektivní údržby odpovídá hodnotě 4 979,50 EUR. Největší hodnotu nákladů určují náklady na údržbu řídicího systému s hodnotou odpovídající 67 %. Náklady na vnějšího a vnitřního systému detekce kouře mají téměř stejnou hodnotu. Jejich hodnota odpovídá 16 % a 17 % z celkové částky. Náklady na korektivní údržbu podvozkové teplotní detekce jsou zanedbatelné.



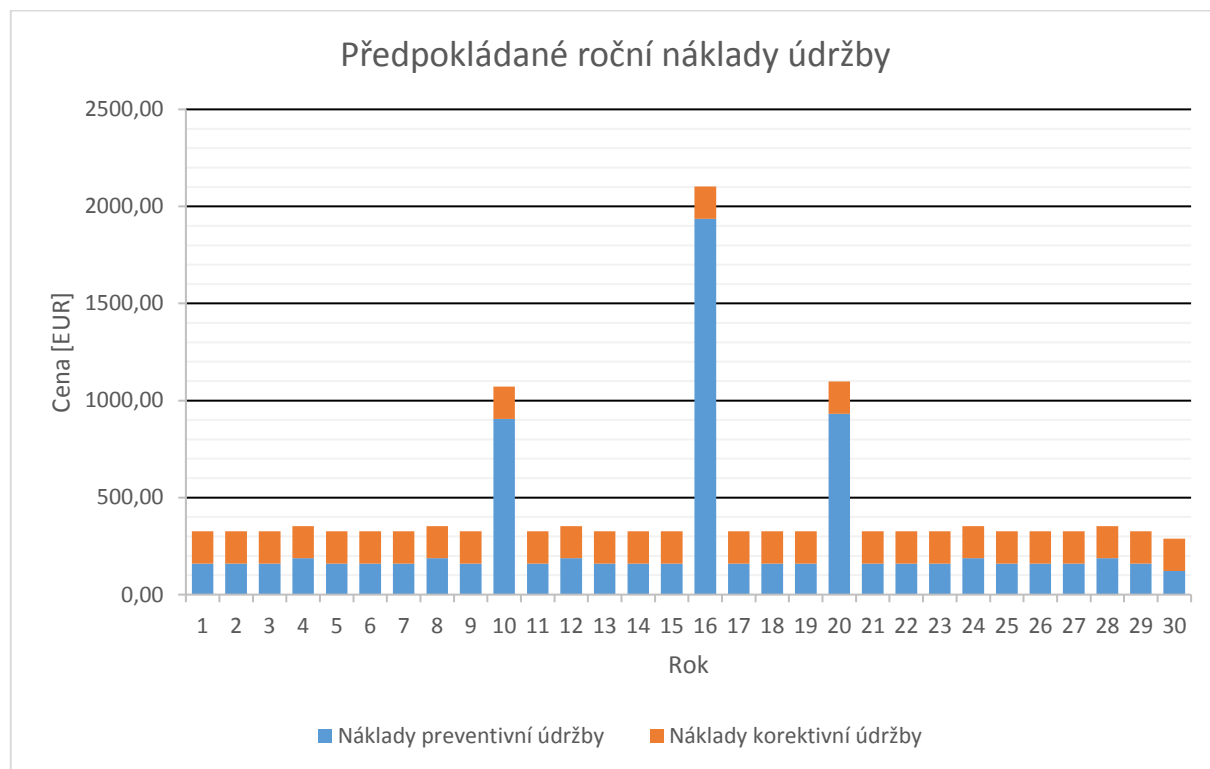
Obrázek 4.2 Náklady korektivní údržby nezálohovaného systému

Z porovnání nákladů preventivní a korektivní údržby lze pozorovat že náklady preventivní údržby určují přibližně dvě třetiny z celkových nákladů na systém protipožární ochrany. Přičemž celkové náklady odpovídají hodnotě 14 647,70 EUR.



Obrázek 4.3 Celkové náklady nezálohovaného systému

Následně byla provedena predikce ročních nákladů jednotky v závislosti na údržbě. Náklady preventivní údržby byly rozděleny podle intervalů údržby. Náklady korektivní údržby byly rovnoměrně rozděleny do celé předpokládané životnosti jednotky.



Obrázek 4.4 Předpokládané roční náklady údržby nezálhovaného systému

4.4 Predikce nákladů LCC – systém se zálohováním

Nejdříve byla vytvořena tabulka určující počet jednotlivých komponentů. Pro konstrukci tabulky jsou výchozí bloková schémata zobrazující systém se zálohováním (viz. Obrázek 3.4 a Obrázek 3.5).

Tabulka 4.10 Počty komponentů systému se zálohováním

Systém/Komponent	Čelní vůz 1	Vložený vůz 1	Vložený vůz 2	Čelní vůz 2
	Počet jednotlivých komponentů			
Řídicí systém detekce kouře				
Celý řídicí systém	1	0	0	1
Řídicí jednotka	1	0	0	1
DC/DC konvertor	1	0	0	1
PC rozhraní gateway	1	0	0	1
Vnější systém detekce kouře				
Jednotka detekce kouře	1	0	0	1
Vzduchový filtr	1	0	0	1
Vnitřní systém detekce kouře				
Detektor kouře	4	4	4	4
Podvozkový detektor teploty				
Lineární teplotní detektor	6	8	8	6

4.4.1 Predikce nákladů preventivní údržby systému se zálohováním

Pro určení nákladů preventivní údržby byly použity předchozí tabulky preventivní údržby obsažené v kapitole 4.2. Tyto tabulky byly sloučeny do jedné tabulky. Dále k tomuto výpočtu byla potřebná tabulka Interval údržby.

Pro výpočet nákladů na preventivní údržby byly použity vzorce z kapitoly 4.3.1. postup jednotlivých výpočtů byl obdobný. Jako v případě nezálohovaného systému, který byl vypočten výše.

Tabulka 4.11 Predikce LCC preventivní údržby systému se zálohováním 1/2

Systém/Komponent	Provedená aktivita	Náklady na práci [EUR]	Náklady na materiál [EUR]	Náklady preventivní údržby [EUR]
Řídící systém detekce kouře				
Celý řídící systém	Funkční kontrola	870,00	0,00	870,00
Řídící jednotka	Vizuální kontrola	174,00	0,00	174,00
DC/DC konvertor	Vizuální kontrola	116,00	0,00	116,00
PC rozhraní gateway	Vizuální kontrola	58,00	0,00	58,00
		Náklady na systém [EUR]		1 218,00
Vnější systém detekce kouře				
Jednotka detekce kouře	Vizuální kontrola poškození	354,00	0,00	354,00
	Kontrola upevnění			
Jednotka detekce kouře	Funkční kontrola – alarm	116,00	75,40	191,40
Jednotka detekce kouře	Funkční kontrola – chyba	116,00	0,00	116,00
Jednotka detekce kouře	Revize (diagnostika)	40,00	0,00	40,00
Jednotka detekce kouře	Preventivní výměna	60,00	2 880,00	2 940,00
Vzduchový filtr	Vizuální kontrola na zanešení, čištění	1 190,00	0,00	1 190,00
	Kontrola upevnění			
Vzduchový filtr	Výměna	65,00	338,00	403,00
		Náklady na systém [EUR]		5 234,40
Vnitřní systém detekce kouře				
Detektor kouře	Vizuální kontrola na zanešení a poškození	1 888,00	0,00	1 888,00
Detektor kouře	Funkční kontrola – alarm	464,00	232,00	696,00
Detektor kouře	Funkční kontrola – chyba	464,00	0,00	464,00
Detektor kouře	Preventivní výměna	240,00	6320,00	6 560,00
		Náklady na systém [EUR]		9 608,00

Tabulka 4.12 Predikce LCC preventivní údržby systému se zálohováním 2/2

System/Komponent	Provedená aktivita	Náklady na práci [EUR]	Náklady na materiál [EUR]	Náklady preventivní údržby [EUR]
Podvozkový detektor teploty				
Lineární teplotní detektor	Vizuální kontrola poškození	1 652,00	0,00	1 652,00
Lineární teplotní detektor	Funkční kontrola – chyba	1 624,00	0,00	1 624,00
		Náklady na systém [EUR]		3 276,00
Celkové náklady preventivní údržby systému protipožární ochrany[EUR]				19 336,40

4.4.2 Predikce nákladů korektivní údržby systému se zálohováním

Výpočet jednotlivých parametrů byl proveden stejným způsobem jako v případě nezálohovaného systému. Jednotlivé výpočty byly tedy provedeny stejným způsobem jako v kapitole 4.3.2.

Tabulka 4.13 Predikce LCC korektivní údržby systému se zálohováním

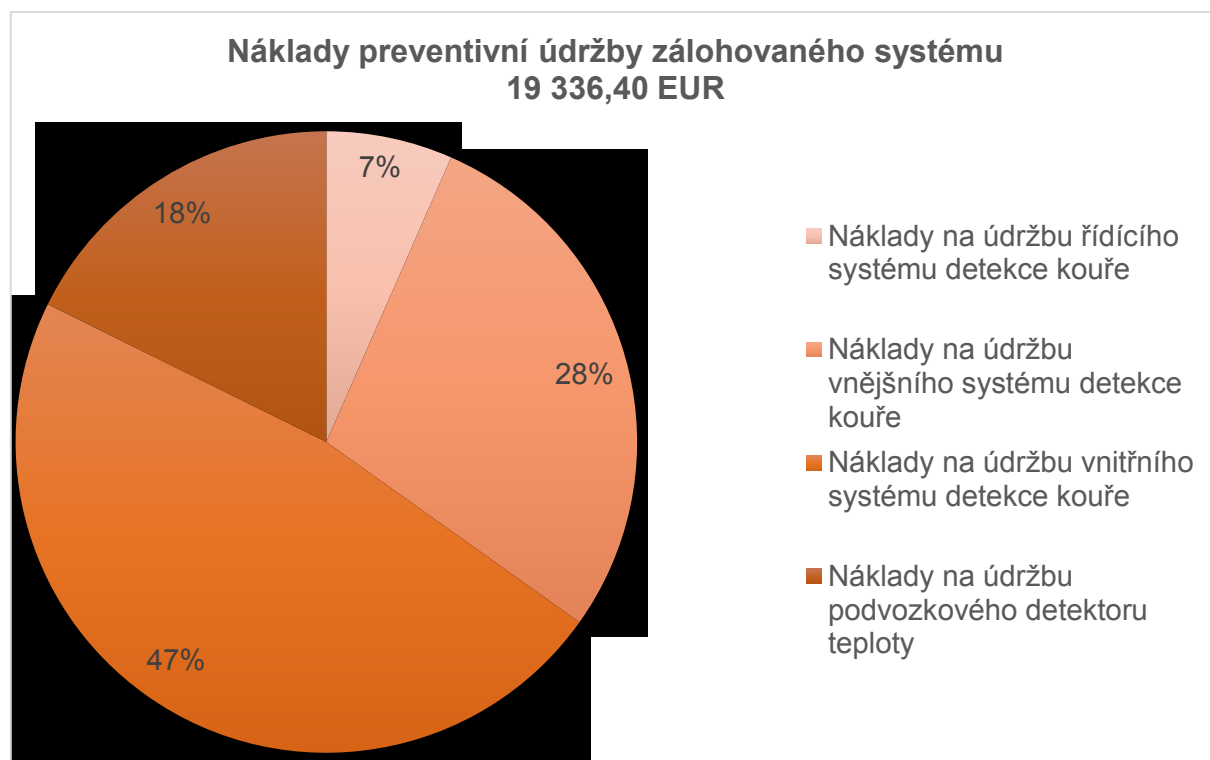
Systém/Komponent	Provedená aktivita	Předpokládaný počet poruch během životnosti	Náklady na práci [EUR]	Náklady na materiál [EUR]	Náklady korektivní údržby [EUR]
Řídicí systém detekce kouře					
Řídicí jednotka	Výměna	1,4256	28,51	3 849,12	3877,63
Řídicí jednotka	Externí oprava	0,85536	17,12	1 283,04	1 300,15
DC/DC konvertor	Výměna	0,3168	4,75	98,21	24,552
PC rozhraní gateway	Výměna	0,9504	28,51	1 387,58	693,79
		Náklady na systém [EUR]			5 896,12
Vnější systém detekce kouře					
Jednotka detekce kouře	Výměna	2,12256	31,84	1 528,24	1 560,08
Vzduchový filtr	Výměna	0,00396	0,02	0,10	0,12
		Náklady na systém [EUR]			1 560,20
Vnitřní systém detekce kouře					
Kouřový detektor	Výměna	4,15008	62,25	1 639,28-	1 701,53
		Náklady na systém [EUR]			1 701,53
Podvozkový detektor teploty					
Lineární teplotní detektor	Výměna	0,011088	0,17	0,18	0,34
		Náklady na systém [EUR]			0,34
Předpokládané náklady korektivní údržby systému protipožární ochrany [EUR]					9 158,20

4.4.1 Grafické vyjádření LCC – systém bez zálohování

Pro následné snadnější porovnání byly vytvořeny grafy pro náklady preventivní a korektivní údržby. Následně také pro celkové náklady. Bylo vycházeno ze systému bez zálohování.

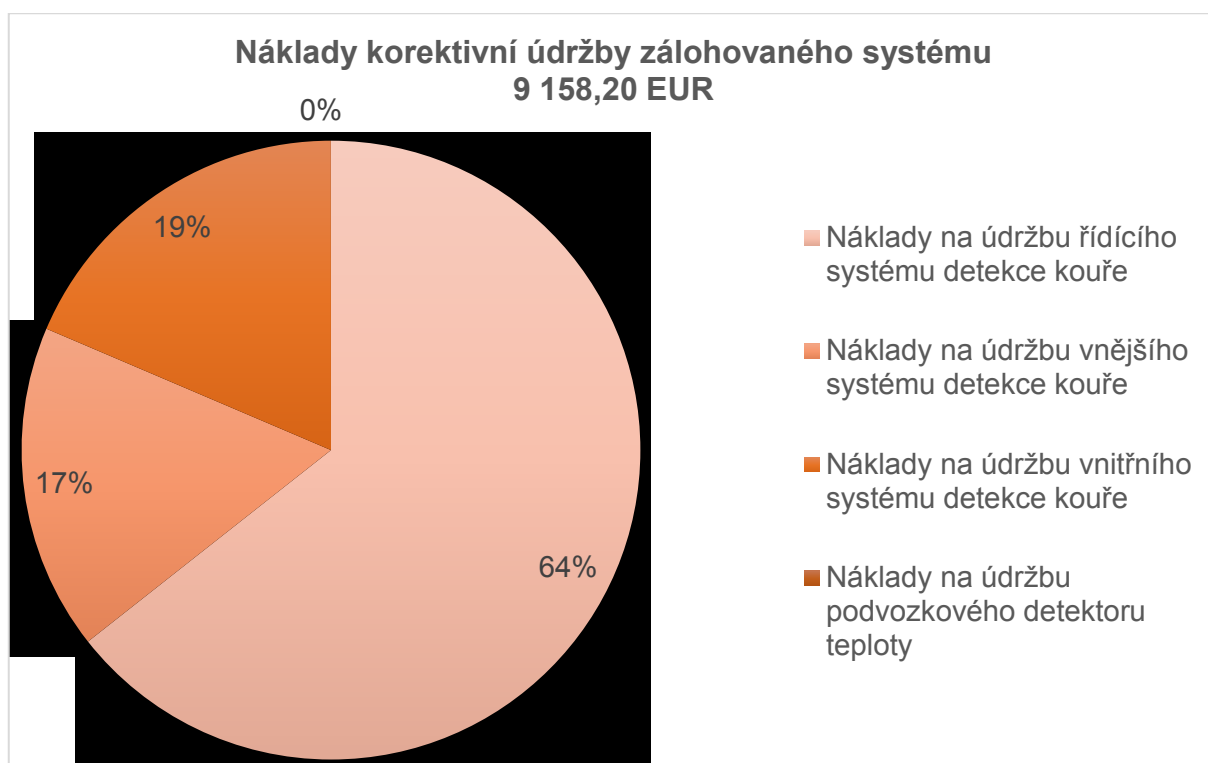
Náklady preventivní údržby jsou rovny 19 336,40 EUR. Jako u systému bez zálohování má nejvyšší hodnotu nákladů vnitřní systém detekce kouře a hodnotě odpovídá 47 % procent z celkových nákladů preventivní údržby. Poměr se tedy snížil o 3 % oproti nákladům v systému

nezálohovaném. U vnějšího systému detekce kouře nastal mírný nárůst o 1 %. Stejně jako v případě podvozkové teplotní detekce a řídicího systému detekce kouře.



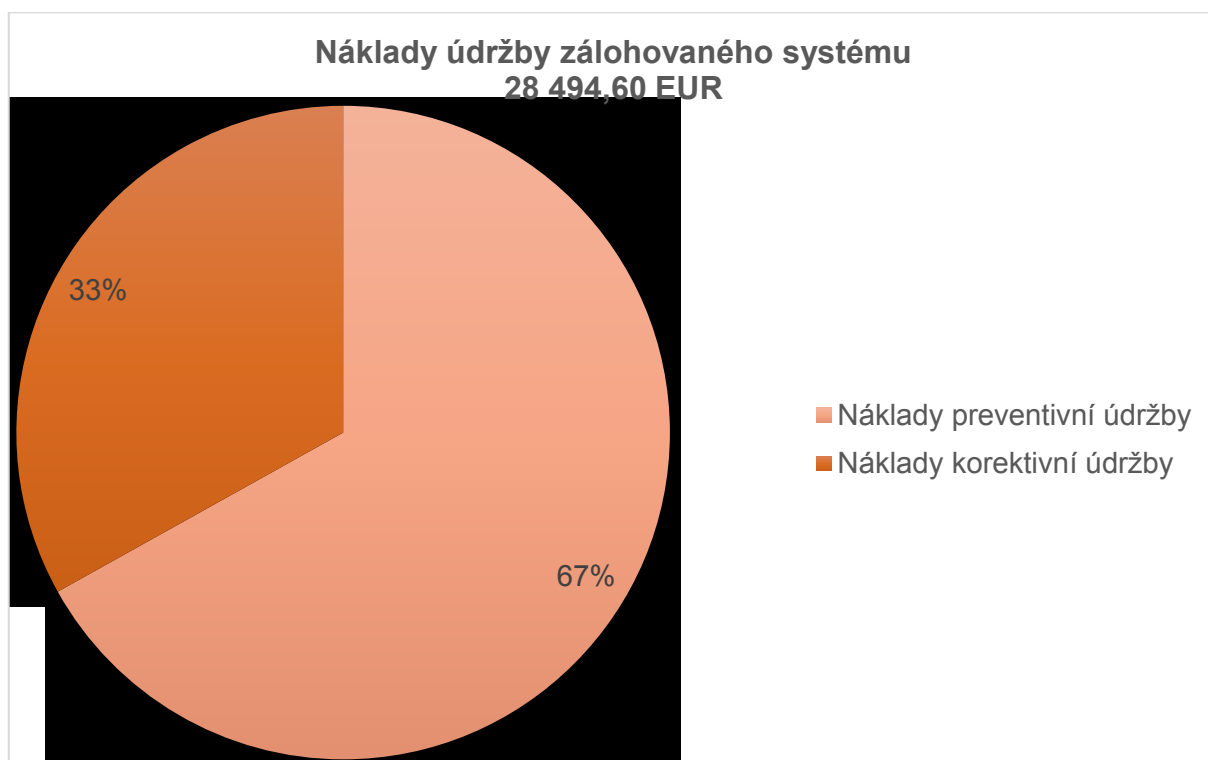
Obrázek 4.5 Náklady preventivní údržby zálohovaného systému

Graf předpokládaných nákladů preventivní údržby, která má hodnotu 9 158,20 EUR, zachovává poměry jednotlivých systémů jako v případě nezálohovaného systému. Náklady na údržbu řídicího systému se snížili na 64 %. Oproti tomu poměry nákladů na vnitřní detekci kouře vzrostly o 2 %. Náklady na vnější systém detekce kouře vzrostly o 1 %. Náklady na podvozkovou teplotní detekci jsou zanedbatelné.



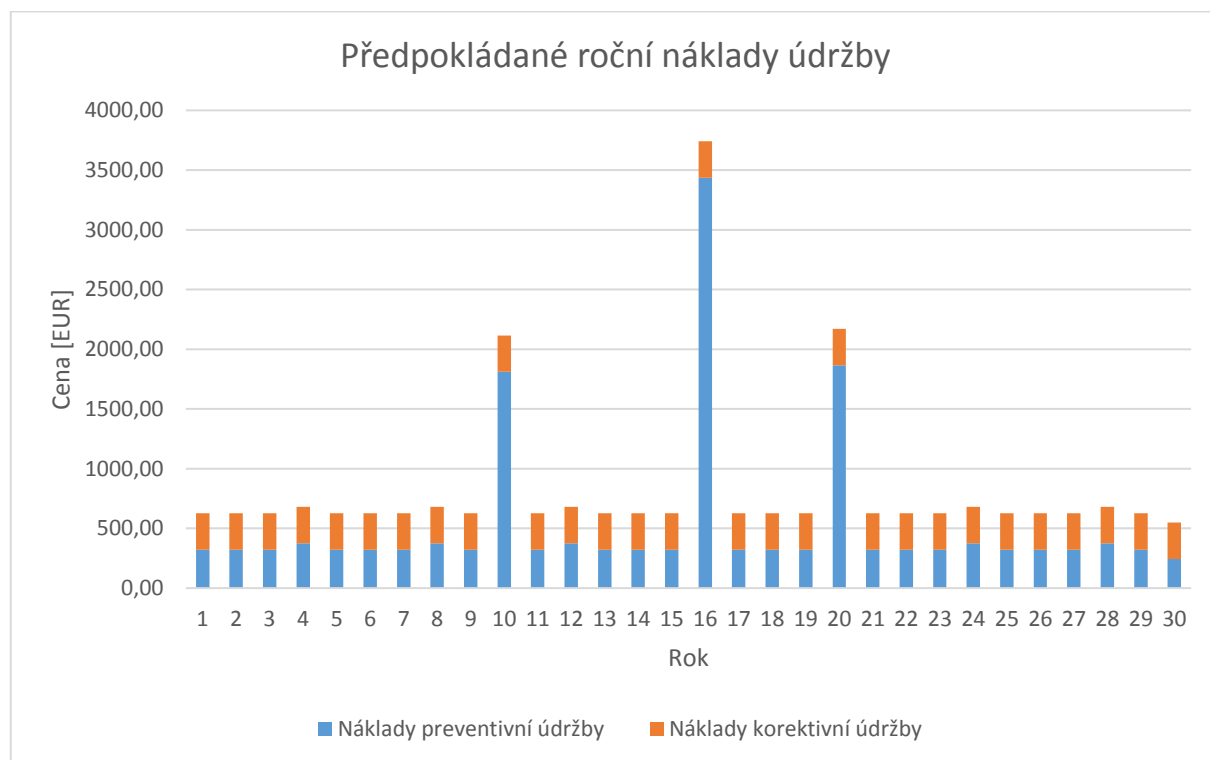
Obrázek 4.6 Náklady korektivní údržby zálohovaného systému

Celkové náklady údržby zálohovaného systému, které mají hodnotu 28 494,60 EUR, odpovídají svým poměrem nákladům nezálohovaného systému. Náklady preventivní údržby jsou přibližně dvojnásobné.



Obrázek 4.7 Celkové náklady zálohovaného systému

Níže je uveden graf ročních nákladů údržby systému se zálohováním. Náklady preventivní údržby jsou rozděleny do roků podle intervalu údržby. Náklady korektivní údržby jsou rozděleny rovnoměrně do celé životnosti jednotky.



Obrázek 4.8 Předpokládané roční náklady údržby zálohovaného systému

5 Závěr

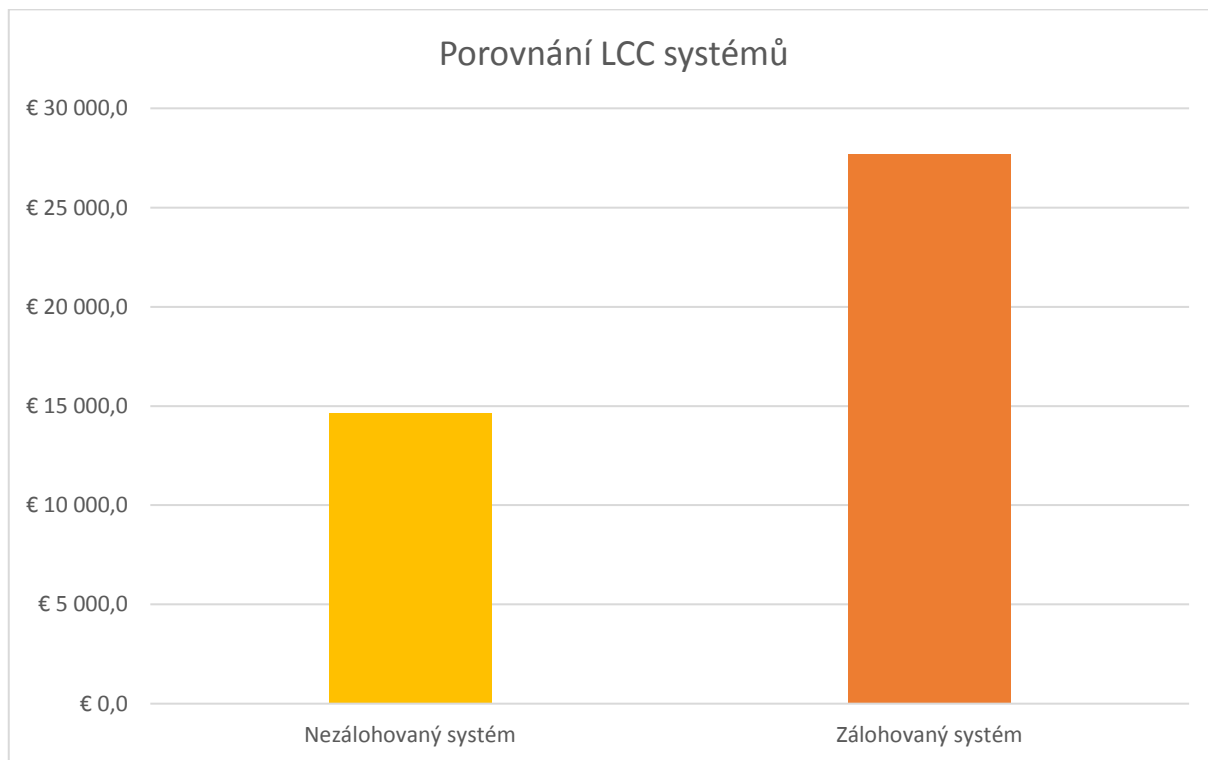
5.1 Porovnání spolehlivosti

Z hlediska spolehlivosti celého systému protipožární ochrany můžeme vybrat jako spolehlivější zálohovaný systém. Lze pozorovat že intenzita poruch nezálohovaného systému protipožární ochrany je více než dvojnásobná oproti zálohovanému systému. Z hlediska bezpečnosti lze s určitostí označit zálohovaný systém jako bezpečnější. Systém je bezpečnější z důvodu, že drtivá většina z intenzity poruch ovlivňující provoz jednotky připadá na planý poplach. Přesněji 668 FIT z celkové intenzity poruch ovlivňující provoz 669 FIT.

Kdybychom intenzitu poruch chtěli přepočíst na předpokládaný počet poruch za celkovou udávanou životnost, můžeme určit, že pro zálohovaný systém je předpokládaný počet poruch 0,13. Naopak u nezálohovaného systému, kde se předpokládá počet poruch 2,83 poruchy. U vozového parku o sto jednotkách by byl odhadovaný počet poruch stonásobný.

5.2 Porovnání LCC protipožárního systému

Náklady na zálohovaný systém jsou téměř dvojnásobné oproti nákladům na nezálohovaný systém. Tato skutečnost byla předpokládána z důvodu zdvojování jednotlivých komponentů. Z důvodu zdvojování se také zvýší náklady na práci i na materiál. Také se zvýší počet poruch komponentů. Níže je uveden graf porovnání nákladů na údržbu jednotlivých systémů.



Obrázek 5.1 Porovnání LCC systémů

Z Obrázek 4.4 a Obrázek 4.8 lze určit v jakém roce můžeme očekávat nejvyšší náklady údržby. Nejvyšší náklady vzniknou v šestnáctém roce životnosti z důvodu preventivní výměny vnitřních detektorů kouře. Dále lze z obrázků určit že průměrné roční náklady v případě nezálohovaného systému jsou 488,30 EUR. V případě zálohovaného systému průměrné roční náklady odpovídají částce 922,50 EUR. Z těchto výpočtů můžeme učinit závěr, že roční průměrné náklady na údržbu zálohovaného systému se více než zdvojnásobily oproti nezálohovanému systému.

Kdybychom chtěli snížit náklady při zachování spolehlivosti bylo by nutné zvýšit inherentní spolehlivost jednotlivých komponentů, což by s jistotou zvýšilo pořizovací cenu. Dále by bylo výhodné upravit vnitřní detektory kouře, aby je nebylo potřeba preventivně měnit během předpokládané životnosti.

6 Seznam použité literatury

- [1] IEC 60300-3-3. Edition 2.0. 2004-7.
- [2] EN 45545-1. 1. Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels: CEN-CENELEC Management Centre, 2013.
- [3] EN 45545-6. 1. Avenue Marnix 17, B-1000: Brussels: CEN-CENELEC Management Centre, 2013.
- [4] Plánování rozvoje dopravních soustav velkých městských aglomerací: DOPRAVNÍ SOUSTAVA MĚSTSKÝCH AGLOMERACÍ: METRO. In: *Olbron Invent s.r.o.* [online]. Karla Čapka 21, 250 91 Zeleneč [cit. 2017-02-05]. Dostupné z: <http://www.olbron.cz/Metro.pdf>
- [5] FAMFULÍK, Jan, Vladimír HRANOŠ, Radek KRZYŽANEK a Zuzana GALVASOVÁ. *Spolehlivost pozemní dopravy* [online]. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava Univerzita Pardubice, 2013 [cit. 2017-02-05]. ISBN 978-80-248-3266-1. Dostupné z: https://issuu.com/michdor/docs/m11_text
- [6] Inspiro: The metro platform from Siemens. In: *SIEMENS* [online]. Germany: Siemens AG 2016 [cit. 2017-02-05]. Dostupné z: <http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/en/rail-solutions/metros/inspiration-citylife-inspiro/inspiro-plattform-en.pdf>
- [7] Automatic train operation. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_train_operation
- [8] Fire Protection in Civil Vehicles. In: *Kidde Deugra: UTC Aerospace Systems* [online]. Halskestr. 30, 40880 Ratingen, Germany: KIDDE-DEUGRA Brandschutzsysteme, 2004 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.kidde-deugra.com/uploads/media/pdf_commveh_01.pdf
- [9] Podle ústního sdělení Ing. Radka Krzyžánka Ph.D. (zaměstnanec Siemens s.r.o. Mobility, 28. října 150/2663 Ostrava) dne 24. února 2017
- [10] Vnitřní vybavení dopravních tunelových staveb. In: *Fakulta stavební ČVUT* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~Pruskjan/2016/ICP/Prednasky/vybaveni%20tunelu.pdf>

7 Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 2.1 Spolehlivost dle IEC 50(191) [5].....	19
Obrázek 2.2 Pravděpodobnost funkce poissonova rozdělení [5]	20
Obrázek 2.3 Graf distribuční funkce poissonova rozdělení [5]	20
Obrázek 2.4 Hustota pravděpodobnosti exponenciálního rozdělení [5]	21
Obrázek 2.5 Distribuční funkce exponenciálního rozdělení [5]	22
Obrázek 2.6 Značení událostí v FTA.....	23
Obrázek 2.7 Označení hradel FTA.....	23
Obrázek 3.1 Blokové schéma uspořádání vozů	25
Obrázek 3.2 Blokové schéma čelního vozidla – Verze bez zálohování	30
Obrázek 3.3 Blokové schéma vloženého vozidla – Verze bez zálohování	30
Obrázek 3.4 Blokové schéma čelního vozidla – Verze se zálohováním	31
Obrázek 3.5 Blokové schéma vloženého vozu – Verze se zálohováním	31
Obrázek 3.6 Systém bez zálohování – Porucha ovlivňující provoz vozidla.....	32
Obrázek 3.7 Systém bez zálohování – Planý poplach.....	33
Obrázek 3.8 Systém bez zálohování – úplná ztráta funkce	35
Obrázek 3.9 FTA Systém se zálohováním – Porucha ovlivňující provoz vozidla	36
Obrázek 3.10 Systém se zálohováním – Planý poplach.....	37
Obrázek 3.11 Systém se zálohováním – Úplná ztráta funkce	39
Obrázek 4.1 Náklady preventivní údržby nezálohovaného systému.....	51
Obrázek 4.2 Náklady korektivní údržby nezálohovaného systému	52
Obrázek 4.3 Celkové náklady nezálohovaného systému	52
Obrázek 4.4 Předpokládané roční náklady údržby nezálohovaného systému	53
Obrázek 4.5 Náklady preventivní údržby zálohovaného systému.....	58
Obrázek 4.6 Náklady korektivní údržby zálohovaného systému	59
Obrázek 4.7 Celkové náklady zálohovaného systému	59
Obrázek 4.8 Předpokládané roční náklady údržby zálohovaného systému	60
Obrázek 5.1 Porovnání LCC systémů	61
Tabulka 1.1 Požadavky na požární detekci dle EN 45545.....	15
Tabulka 3.1 Parametry provozu od zadavatele [9]	25
Tabulka 3.2 Parametry jednotky [6].....	26
Tabulka 3.3 Spolehlivostní analýza [9]	28
Tabulka 3.4 Jednotlivé akce po nastalé situaci	29
Tabulka 4.1 Interval údržby	40
Tabulka 4.2 Intervaly preventivní údržby [9]	42
Tabulka 4.3 Náklady a specifikace materiálů preventivní údržby [9].....	43

Tabulka 4.4 Intenzita poruch korektivní údržby [9]	43
Tabulka 4.5 Náklady a specifikace materiálů korektivní údržby [9]	44
Tabulka 4.6 Počty komponentů systému bez zálohování	45
Tabulka 4.7 Predikce LCC preventivní údržby systému bez zálohování 1/2	47
Tabulka 4.8 Predikce LCC preventivní údržby systému bez zálohování 2/2	48
Tabulka 4.9 Predikce LCC korektivní údržby systému bez zálohování	50
Tabulka 4.10 Počty komponentů systému se zálohováním	54
Tabulka 4.11 Predikce LCC preventivní údržby systému se zálohováním 1/2	55
Tabulka 4.12 Predikce LCC preventivní údržby systému se zálohováním 2/2	56
Tabulka 4.13 Predikce LCC korektivní údržby systému se zálohováním	57